DIE

ZUCKUNGSGESETZE

DES LEBENDEN

NERVEN UND MUSKELS.

VON

G. VALENTIN.

MIT XX EINGEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG & HEIDELBERG.
C. F. WINTER'SCHE VERLAGSHANDLUNG.
1863.

Vorrede.

Man hatte sich seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts gewöhnt, die wesentlichsten Reizbarkeitserscheinungen der Nerven und der Muskeln an Froschpräparaten zu untersuchen, die dem getödteten Thiere entnommen worden, ohne immer im Auge zu behalten, dass man sich mit absterbenden und durch die Herrichtung misshandelten Gebilden beschäftigte. Die Erkenntniss des Hauptgesetzes der Wirkung des lebenden Nerven und Muskels wurde daher erst vor drei Lustren, also mehr als ein halbes Jahrhundert nach Galvani's Entdeckung gewonnen. Es lag nahe, den Gang der Studien, die man bisher an den todten Froschpräparaten verfolgt hatte, für den lebenden und unversehrten Nerven aufzunehmen. Die Arbeit, welche ich hiermit der Oeffentlichkeit übergebe, beschäftigt sich mit der theilweisen Lösung dieser Aufgabe.

Die Prüfung des in seinen natürlichen Verhältnissen befindlichen Nerven des lebenden Frosches mit elektrischen Strömen ist mit einem unvermeidlichen Uebelstande verbunden. Man muss die Elektroden in den Oberschenkel des Thieres einführen, wenn man die Wirkung des Hüftnerven auf den Wadenmuskel zu untersuchen beabsichtigt. Stromesschleifen durchsetzen dann natürlich die Oberschenkelmuskeln. Die Weichgebilde erzeugen Nebenschliessungen, vermöge deren einzelne Theilströme in einer dem Hauptstrome entgegengesetzten Richtung durch den Nerven fliessen. Man hat aber dafür den Vortheil, dass

man Wirkungen verfolgt, die dem Leben wahrhaft angehören, dass man keiner Täuschungsgefahr durch Leichenerscheinungen ausgesetzt ist, dass man einen unversehrten Nerven prüft, dessen Kräfte durch die Fortdauer des Blutlaufes besser unterhalten und leichter hergestellt werden.

Die lebenden Nerven der Säugethiere gehorchen im Allgemeinen denselben Gesetzen, wie die der Frösche. Selbst der tiefste Erstarrungszustand der Murmelthiere erzeugt keine wesentliche Abweichung. Man wird daher die am Frosche erkannten Normen auf den Menschen übertragen und elektrotherapeutisch verwerthen können.

Die Untersuchung der aufgezeichneten Muskelcurven führte mich zu einer Auffassungsweise, welche die bisher in der Mechanik gebräuchliche Grössenberechnung der thierischen Arbeitsleistungen beseitigen dürfte. Man ist nicht berechtigt, diese z. B. durch Kilogramm-Meter, die man auf die Arbeitsdauer einer Zeiteinheit z. B. einer Secunde zurückführt, auszudrücken. Man muss vielmehr eine aus drei Grössen zusammengesetzte Einheit als Maassstab gebrauchen. Nur das Product der Summe der Widerstände, des durchlaufenen Weges und der Zeit, während welcher die zwei ersten Grössen unverändert blieben, kann, wie man sehen wird, die geleistete Arbeit messen und mit anderen Fällen vergleichbar machen. Man wird daher von nun an von mechanischen Einheiten z. B. der Kilogramm-Meter-Secunde statt der bisher gebräuchlichen sprechen müssen.

Bern, September 1863.

G. Valentin.

Inhalt.

Seite

Vorrede V

§. 1. Vorrichtungen 1

§. 2. Die allgemeinen Zuckungsgesetze des lebenden Nerven und Muskels . . . 18

§. 3. Die Tetanisation des Nerven oder des Muskels 37

§. 4. Die Formen der Muskelcurven 47

§. 5. Die Nutzwirkung der Muskelthätigkeit 57

§. 6. Der Einfluss des elektrotonischen Zustandes 65

§. 7. Die Reizung des Rückenmarkes 86

§. 8. Die Einflüsse der Temperatur und der Aetherisation auf die Zusammenziehung der Muskeln 100

§. 9. Aenderungen der Nervenstimmung durch Verletzungen des Nervensystemes 104

§. 10. Der Wechsel der Nervenstimmung unter dem Einflusse elektrischer Ströme 105

§. 11. Die Wirkungen einzelner Gifte auf die Zuckungserscheinungen 126

§. 1. Vorrichtungen.

Alle uns hier beschäftigenden Untersuchungen sind an dem durch die Reizung des Hüftnerven zusammengezogenen Wadenmuskel des lebenden Frosches mittelst des graphischen Verfahrens angestellt worden. Ich liess zu diesem Zwecke ein Uhrwerk anfertigen, das, wie ein früher von mir beschriebenes, eine Art von Universalinstrument für die verschiedensten physiologischen Bedürfnisse, z. B. die Aufschreibung von Blutcurven, Athmungscurven, Muskelcurven und dergl. bilden sollte. Die neue Vorrichtung ist nur kleiner und weit sorgfältiger als die frühere gearbeitet.

Das Uhrwerk, welches von einem mit seitlichen Glaswänden versehenen Messingkasten eingeschlossen wird, enthält fünf die eine Messingwand durchbohrende Achsen. Die erste, die in ihrem äusseren Theile dick und viereckig ist, führt das Trommelhaus und dient zum Aufziehen mittelst eines Schlüssels. Jede der vier übrigen Achsen hat an einer Stelle einen kleinen vertieften Ausschnitt, gegen den man die Schraube des aufgesetzten Ansatzes drückt. Das Ganze wird durch Gewichte getrieben. Die Sehnur, an deren Haken diese angehängt werden, kann über eine von zwei Rollen gehen. Man ist nämlich im Stande, das auf einem dicken festen Klotze angeschraubte Uhrwerk senkrecht aufzustellen oder auf einem zweiten freien Klotze wagrecht ruhend zu gebrauchen. Jede dieser beiden Stellungen hat ihre eigene gefurchte, zur Aufnahme der Sehnur bestimmte Rolle. Die Achsen laufen wagerecht bei senkrechter und senkrecht bei wagerechter Stellung des Uhrwerkes. Sie können Scheiben oder Cylinder mittelst der anschraubbaren Ansätze tragen. Nur Scheiben wurden zu den uns hier beschäftigenden Untersuchungen benutzt.

Die Zähne der Räder und der Triebe sind so geschnitten, dass die Uebersetzung der Bewegung nach einer geometrischen Progression mit dem Exponenten 10 fortschreitet. Macht also das Trommelhaus eine Umdrehung, so vollführt die zweite Achse 10, die dritte 100, die vierte 1000 und die fünfte 10,000 Umdrehungen in derselben

Zeitgrösse. Die meisten Muskelcurven wurden z. B. auf Scheiben aufgeschrieben, die sich auf der zweiten, dritten oder vierten Achse befanden, während sich die Trommel in 3 Minuten ein Mal herumdrehte. Man hatte also 18, 1,8 und 0,18 Secunden für einen Scheibenumgang. Die letzte mit keinem fremden Körper beschwerte Achse drehte sich dann 55 Mal in der Secunde. Ich konnte aber auch die Grösse der Zuggewichte ohne die geringste Gefahr für das Uhrwerk für feinere Versuche, wenn es nöthig war, so weit steigern, dass die Geschwindigkeit der mit einer Glasscheibe beschwerten letzten Achse immer noch gross blieb und man z. B. 33 Umdrehungen in einer Secunde hatte.

Die Regulation wird durch eine eigenthümliche Windflügeleinrichtung hergestellt. Die fünfte Achse läuft unten in einen spitzen Stift aus, der eine dicke Messingplatte durchbohrt und dabei gegen eine federnde Stahlplatte drückt. Er trägt über jener zwei schief und entgegengesetzt gerichtete rechteckige Windflügel, über denen sich eine Kreisscheibe befindet. Je schneller die Bewegung der letzten Achse, mithin des Uhrwerkes überhaupt und zugleich der Windflügel vor sich geht, um so mehr drückt und reibt sich der Stift gegen die Stahlplatte, so dass hierdurch ein regelmässigerer Gang erzielt wird. Die runde über den Windflügeln befindliche Messingscheibe dient dazu, das Uhrwerk zu jeder Zeit sogleich anhalten zu können. Man hat nämlich aussen und seitlich einen zwischen zwei Stahlstiften drehbaren Messinghebel, der innen einen zweiten aus einer Platte bestehenden Hebel nach vorn dreht, wenn man ihn selbst nach aussen wendet. Dieser innere Hebel legt sich dann bei einer gewissen Grösse des Drehungswinkels auf die über den Windflügeln befindliche Kreisscheibe und drückt die Achse derselben herunter, indem der das andere Ende bildende Stift die elastische Stahlfeder, auf die er wirkt, nach abwärts schiebt. Da immer die fünfte Achse eine grosse Uebersetzung und daher eine bedeutende Geschwindigkeit besitzt, so reicht das durch den Hebel bedingte Hinderniss, wenn es auch an und für sich nicht sehr gross ist, hin, das Uhrwerk rasch und ohne alle Gefahr zum Stillstande zu bringen.

Die Wandung des das Uhrwerk einschliessenden Messingkastens, an der die Achsen hervorragen, trägt unten zwei für die Aufnahme von Zuleitungsdrähten bestimmte Klemmen, von denen die eine mit dem übrigen Uhrwerk metallisch verbunden, die zweite dagegen durch ein eingeschobenes Hornblatt vollständig isolirt ist. Der nächste

Zweck dieser Einrichtung besteht darin, den Schluss und die Oeffnung einer Kette durch das Uhrwerk selbst bewirken zu lassen, wenn es nicht darauf ankommt eine gleichförmige Umdrehungsgeschwindigkeit herzustellen. Die zum Aufziehen bestimmte erste Achse trägt nämlich äusserlich eine Scheibe, die 10 gleichgrosse mit Bogenflächen versehene Zähne und 10 eben so grosse leere Zwischenräume besitzt. Ein mit einer dreieckigen Hervorragung in seiner Mitte versehenes Stahlblatt ist an die nicht isolirte Klemme angeschraubt. Die isolirte dagegen wird von einer Messingschraube durchbohrt, deren Ende die Fläche des Endtheiles der Stahlplatte berührt, wenn die Hervorragung einem Zwischenraume zwischen zwei Zähnen entspricht. Geht das Uhrwerk, so drückt nach einiger Zeit ein Zahn gegen die Hervorragung und entfernt das Ende der Stahlplatte von der die isolirte Klemme durchsetzenden Schraube. Diese und durch sie die isolirte Klemme ist mit einem Worte während eines jeden Umgangs der ersten Achse 10 Mal mit der nicht isolirten Klemme und dem Uhrwerke überhaupt metallisch verbunden und 10 Mal von ihm isolirt. Da die Zähne und die Zwischenräume gleich grossen Bogen entsprechen, so hat man $^1/_{20}$ der Umgangszeit für jede Dauer des Schlusses und jedes Offensein der Kette, wenn die Elektroden in den beiden Klemmen befestigt worden. Eine genauere Prüfung lehrte, dass die einzelnen Unterschiede nur unbedeutend ausfielen.

Man sieht leicht, dass man diese Einrichtung mehrfach benutzen kann. Bringt man die zwei Elektroden einer Batterie und zwei andere Drähte, die zu dem thierischen Theile führen, in die beiden Klemmen, so hat man eine metallische Nebenschliessung, so lange eine Lücke zwischen zwei Zähnen vorübergeht. Die Muskeln werden daher in der Regel ruhig bleiben. So wie ein Zahn zur Hervorragung gelangt, wird jener metallische Zwischenschluss aufgehoben. Die Ströme durchsetzen die Nerven oder die Muskeln und die Zusammenziehung oder andere entsprechende Wirkungen kommen zum Vorschein. Befestigt man dagegen die eine von der Kette kommende Elektrode in die eine Klemme und deren zum thierischen Theile gehende gesonderte Fortsetzung in die zweite, so ist natürlich das Ganze erst durch das Stahlblatt vervollständigt. Man hat daher die Kette geschlossen, wenn ein zwischen zwei Zähnen befindlicher Zwischenraum vor der Hervorragung vorübergeht und die Oeffnung, so wie ein Zahn zu wirken anfängt. Da man das Abspringen der Hervorragung von einem Zahne hört, so verräth sich schon hierdurch der Augenblick der Kettenschliessung.

Es versteht sich von selbst, dass das Uhrwerk langsamer geht, wenn die Bogenfläche eines Zahnes an der Hervorragung der Stahlplatte schleift und rascher, wenn dieses nicht der Fall ist. Waren z. B. so viel Gewichte angehängt, dass die auf der letzten Achse befestigte Glasscheibe 20 Umgänge in der Secunde machte, so betrug der Unterschied $^1/_{19}$ bis $^1/_{20}$ einer ganzen Umdrehungszeit. Ist diese Ungleichheit für den Hauptzweck des Versuches gleichgültig, so bewährt sich die eben geschilderte Einrichtung als praktisch und bequem. Da ich aber eine möglichst gleichförmige Bewegung für die in dieser Arbeit dargestellten Untersuchungen brauchte, so entfernte ich das Stahlblatt. Das äussere Zahnrad gibt dann ein gutes Mittel, die Umdrehungsgeschwindigkeit zu bestimmen, sei es dass man einen vollen Umgang beobachtet oder nur einen durch die 20 gleichen Abschnitte bestimmten Bruchtheil desselben. Ein äusseres Abzeichen macht die Bestimmung in beiden Fällen möglich.

Der Schluss und die Oeffnung der Kette müssen natürlich in genauen vergleichbaren Versuchen von Beobachtung zu Beobachtung möglichst gleich ausfallen. Da es hier nicht bloss auf die Beständigkeit der Batterie, und die Gleichheit der Leitungswiderstände, sondern auf die Geschwindigkeit der Abgleichung im Augenblicke des Schlusses und der Oeffnung ankommt, so hat man es mit einer Aufgabe zu thun, die sich nur in grober Annäherung im glücklichsten Falle erfüllen lässt, deren vollkommen genügende Lösung wahrscheinlich zu den Unmöglichkeiten gehört. Schliesst man einen eingeschalteten Pohl'schen Stromwender von freier Hand, so fallen die auf einander folgenden Abgleichungen so verschieden aus, dass sich die hierdurch bedingten Differenzen schon oft genug in den aufgezeichneten Curven sogleich verrathen. Es kann dann vorkommen, dass ein mit 40 Grm. belasteter Wadenmuskel eine kleinere Hubhöhe gibt, als wenn man ihn unmittelbar darauf mit 80 Grm. beschwert hat. Beobachtungen der Art führen daher nur zu inhaltlosen Arbeiten. Dasselbe gilt von denjenigen Erfahrungen, die man macht, wenn man den Schluss und die Oeffnung der Kette durch einen gewöhnlichen Telegraphentaster vornimmt.

Ich liess eine einfache Schlüsselvorrichtung anfertigen, die in demselben doppelten Sinne gebraucht werden kann, wie das oben beschriebene Stahlblatt des Uhrwerkes. Ein Holzbrett trägt zwei Klemmen, deren Schrauben oben durchgehen und die nicht Löcher, sondern seitliche Einschnitte besitzen, um Dräthe hineinlegen zu können. Unten hat die eine Klemme ein Platinblättchen. Ein mit

einer feinen Platinspitze versehener, vor- und zurücksehraubbarer Stift geht durch die zweite Klemme. Legt man z. B. die beiden Elektroden einer Kette oder der Inductionsspirale eines Magnetelektromotors in die Einschnitte der Klemmen und befestigt sie hier durch die Sehrauben, so hat man die metallische Nebenschliessung, so lange die Platinspitze das Platinblättchen berührt. Unterbricht man die eine Elektrode durch die beiden Klemmen, so gibt die Berührung der Spitze und des Blättchens den Schluss und die Entfernung der Ersteren die Oeffnung. Man sollte nun glauben, dass der Contact einer möglichst feinen Spitze das eine Mal eben so, wie das andere Mal zu Stande käme, dass besonders die Abgleichungszeiten dieselben sein würden. Die Erfahrung lehrt aber, dass dieses nicht der Fall ist, dass nicht selten merklich verschiedene Curven unter sonst gleichen Verhältnissen auftreten.

Der Pendelschluss lässt sich ebenfalls nicht ohne Nachtheil gebrauchen. Ich brachte den mit der Kette verbundenen Abschnitt der einen Elektrode mit der schweren Linse eines Secundenpendels in Verbindung und befestigte an dieser einen in eine feine Spitze auslaufenden Stahlstift. Anderseits setzte ich unter den Letzteren eine kleine Vorrichtung, die eine zweischenkelige mit Quecksilber gefüllte Röhre enthielt. Der eine Schenkel nahm die Elektrodenfortsetzung auf, die zu dem thierischen Theile ging, der zweite dagegen wurde soweit mit Quecksilber gefüllt, dass eine einen Kugelabschnitt bildende Kuppe hervorragte. Man stellte die Vorrichtung so ein, dass die an der Pendellinse befestigte Stahlspitze die Quecksilberkuppe durchschnitt, wenn das Pendel in der Nähe der Senkrechten durchging und hatte so einen Schluss und eine Oeffnung der Kette, so wie die zweite Elektrode mit dem thierischen Theile unmittelbar verbunden war. Da in der Regel nur die Wirkung einer einzigen Schliessung und Oeffnung angeschrieben werden sollte, so musste man die Bewegung nach dem ersten Pendelschwunge anhalten, eine Nebenbedingung, die nicht immer gelang. Dazu kam, dass bisweilen die Stahlspitze, wenn die Bewegung schneller war, Quecksilber abwarf und so die Anordnung störte.

Diese Uebelstände liessen sich, wenn es darauf ankäme, bald beseitigen. Man müsste eine Vorrichtung anbringen, durch welche das Pendel am Anfange seines Schwunges ausgelöst und nach einer einfachen Schwingung angehalten würde, so dass der Winkel der ursprünglichen Abweichung für alle Versuche gleich bliebe. Der Widerstand der Luft ändert die Gesammtdauer des Pendelschwunges

nicht. Sie ist die gleiche, wie in dem luftleeren Raume. Er verlangsamt dagegen die absteigende Hälfte des Schwunges um dieselbe von dem ursprünglichen Abweichungswinkel direct abhängige Grösse, um welche er den aufsteigenden schneller macht[1]). Wollte man einen möglichst kleinen Unterschied zwischen den Verhältnissen bei dem Schlusse und der Oeffnung haben, so müsste man den ursprünglichen Abweichungswinkel klein machen und für eine symmetrische Form der Kuppe durch möglichste Reinheit des Quecksilbers Sorge tragen.

Ich gebrauchte zuletzt zu den definitiven Versuchen ein anderes Verfahren, das wir mit dem Namen des Quecksilberschlusses mittelst des Uhrwerkes bezeichnen wollen. Da ich in der Regel die zweite Achse ihrer langsamen Umdrehung wegen für das Ansetzen von Scheiben nicht benutzte, so verfügte ich über sie, um die Kette zu schliessen und zu öffnen. Das mit dieser verbundene Stück der einen Elektrode wurde in der nicht isolirten Klemme des Uhrwerkes befestigt. Die zweite Achse desselben trug ein Messingblatt, in dem sich ein mit einer feinen Spitze versehener Stahlstift befand. Anderseits hatte ich einen hölzernen Untersatz mit drei ungleich grossen kreisförmig begrenzten Vertiefungen z. B. von 5, 9 und 11 Mm. im Durchmesser. Ein einen Eisendrath enthaltender Canal führte zu dem Boden der gebrauchten Aushöhlung, auf die man einen Tropfen möglichst gereinigten Quecksilbers brachte. Der durchgeleitete Eisendrath verband sich durch einen sehr dünnen Kupferdrath mit einem anderen Drathe, der, wie das zweite in dem thierischen Theile haftende Elektrodenstück in der isolirten Klemme des Uhrwerkes befestigt war. Verlief nun die zweite Elektrode unmittelbar von der Kette zu dem thierischen Gebilde, so hatte man nur einen Kettenschluss während der Zeit, in welcher die durch die Drehung der zweiten Achse kreisförmig bewegte Stahlspitze den Quecksilbertropfen durchschnitt. Man sieht, dass der Stahlstift ein Rheotom bildete, das durch das Uhrwerk regelmässig und periodisch geleitet wurde. Die verschiedene Grösse der schüsselförmigen Aushöhlungen der Holzplatte hatte zum Zweck, verschieden grosse Quecksilbertropfen herstellen und so die Dauer, während welcher die Kette geschlossen blieb, verlängern oder verkürzen können. Die aufgeschriebene Curve

[1]) Siehe z. B. die Herleitung dieses Satzes für einen kleinen ursprünglichen Abweichungswinkel in J. J. Littrow, Elemente der physischen Astronomie. Wien, 1827. S. S. 156 — 159.

gibt über sie Aufschluss, wenn man eine Schliessungs- und eine Oeffnungs-Zuckung hat. Ein Wechsel jener Dauer kann natürlich auch bei einem und demselben Quecksilbertropfen erreicht werden, je nachdem man ihn dem Wege der Stahlspitze mehr oder minder nähert, also den Durchgangsbogen kürzer oder länger macht.

Behielte das Quecksilber eine genau allseitig symmetrische Form und immer dieselbe Beschaffenheit, so würden auch stets die Verhältnisse bei dem Schlusse und der Oeffnung dieselben sein, vorausgesetzt, dass der Gang des Uhrwerkes ein völlig gleichförmiger ist. Beides lässt sich natürlich nur als erste grobe Annäherung voraussetzen. Stäubchen, welche den Quecksilbertropfen bald bedecken, können Störungen bereiten. Dieses Verfahren liefert dessenungeachtet nicht selten in hohem Grade übereinstimmende Curven, wenn man den Versuch unter den gleichen Nebenbedingungen wiederholt. Es hat noch den Vortheil, dass man sich um den regelmässigen Schluss und die Oeffnung der Kette nicht zu kümmern braucht und seine ganze Aufmerksamkeit anderen Theilen der Vorrichtung schenken kann.

Die einfachste Form, den elektrischen Strom den thierischen Theilen zuzuleiten, besteht darin, dass man zwei die Enden der Elektroden bildende Nadeln einsticht, die eine z. B. in die Gegend der Austrittsstelle des Hüftnerven aus der Unterleibshöhle und die zweite etwas tiefer längs des Verlaufes des Letzteren am Oberschenkel. Man hat aber dann zwei Nachtheile, die Wirkungen der Polarisation und die ziemlich rasche Oxydation der in den thierischen Theilen haftenden Nadelstücke. Der Gebrauch von Platindräthen beseitigt scheinbar die Oxydbildung, hebt aber natürlich die Polarisation nicht auf. Obgleich jene Uebelstände die meisten Versuche nicht sichtlich zu stören scheinen, so habe ich es doch für alle irgend genaueren Beobachtungen vorgezogen, unpolarisirbare Elektroden zu benutzen. Ich gebrauchte hierzu zweierlei Anordnungen.

Ich liess mir unten spitz zulaufende Elfenbeinröhrchen verfertigen, durch deren unteren engen Ausgangscanal ein Faden gezogen wurde, der mit Blutserum des Frosches durchtränkt war. Schnitt man die Haut da ein, wo die Elektroden durchgeführt werden sollten, so konnte man den spitzen Theil des Röhrchens durch die Muskeln stechen und den oberen Abschnitt desselben mittelst eines Halters befestigen. Man füllte hierauf in jenes eine concentrirte Lösung von schwefelsaurem Zinkoxyd und versenkte in diese zwei gut amalgamirte Zinkdräthe, die mit den übrigen Stücken der Elektroden verbunden waren.

Ich zog später ein anderes bequemeres Verfahren vor. Ich umwickelte die sorgfältig amalgamirten Zinkdräthe mit mehreren Lagen von Joseph- oder anderem dünnen Filtrirpapier, die mit einer concentrirten Lösung von Zinkoxyd durchtränkt waren. Nun wurde um die Spitze eine Kappe eines mit Blutserum durchtränkten im Handel vorkommenden, sogenannten Eiweisshäutchens gebracht und um das Filtrirpapier einige Lagen von einem postpapierdünnen Blatte von Gutta pereha gelegt, so dass die Spitze nur von dem Eiweisshäutchen umkleidet hervorragte. Der Schluss wurde dadurch bewerkstelligt, dass man den Rand des Guttaperchablättchens durch Erwärmen an der Weingeistlampe klebrig machte und an das Uebrige andrückte. Man schneidet die Haut da, wo der Nerv verläuft, ein und schiebt die Spitzen der auf die geschilderte Weise umhüllten Elektroden zwischen sie und die Muskeln oder in das interstitielle Bindegewebe. Der nicht unmittelbar berührte Nerv wird dann von den bogenförmigen Seitenströmen durchsetzt. Die exosmotisch austretende Zinklösung erreicht aber zunächst die Muskeln und nicht den Nervenstamm, wie es bei unmittelbarer Berührung der Fall wäre.

Ich habe auch noch Zinkdräthe, die mit einer verhältnissmässig dicken Amalgamschicht bedeckt waren, vergleichsweise versucht und mit ihnen die übereinstimmendsten Curven bei den stärksten benutzten Batterien erhalten. Dasselbe wiederholte sich bei dem Gebrauche starker Messing-Stricknadeln, die ich durch das Eintauchen in eine Auflösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul amalgamirt hatte. Der Ueberzug von Quecksilber macht die Oberflächen gleichartiger, hebt aber natürlich die Polarisation nicht auf.

Man kann die zweite Art unpolarisirbarer Elektroden einen ganzen Tag lang gebrauchen ohne dass die Zinklösung verdunstet. Will man sie ergänzend hinzufügen, so trägt man oben die nöthige Menge durch eine übrig gelassene Lücke mit dem Pinsel ein. Es versteht sich von selbst, dass die Umhüllung am folgenden Tage neu vorgenommen wird. Die Hauptsache ist aber, dass eine verhältnissmässig dicke Amalgamschicht den in die Flüssigkeit tauchenden Theil des Zinkdrathes umgibt. Dieser wird natürlich durch das Amalgamiren so brüchig, dass man sich vor jedem gewaltsamen Einstechen hüten muss.

Kam es auf Constanz des Stromes an, so gebrauchte ich kleine Daniell'sche Elemente, wie sie auf den schweizerischen Telegraphenbureaus benutzt werden. Ich arbeitete sonst mit einer kleinen

Grove'schen Batterie oder mit Zink-Kohlenelementen, die mit verdünnter Schwefelsäure oder mit Kochsalzlösung geladen waren.

Der Verlauf der Versuche belehrte mich, dass nicht derjenige Grad von Beständigkeit der Grove'schen Batterie zukommt, wegen dessen man ihr in physiologischen Kreisen den Vorzug zu geben pflegt. Die Diffusion der verdünnten Schwefelsäure und der Salpetersäure durch den Thoncylinder eines jeden Elementes ändert den innern Widerstand. Macht sich auch dieses sonst für den Fall, dass grosse Widerstände im Schliessungsbogen vorhanden sind, mit weniger Nachdruck geltend, so sind doch die Nerven und die Muskeln so empfindliche Gebilde, dass die Unbeständigkeit der Batterie bald bemerkt wird. Ich fand anderseits, dass der Gebrauch der auf den Telegraphenbureaus eingeführten, durch eine Coulissenvorrichtung sogleich zu schliessenden oder zu öffnenden und daher bequemeren Zinkkohlenbatterieen nicht wesentlich andere physiologische Ergebnisse als eine Grove'sche Batterie liefert, selbst wenn man sie als hemmende oder polarisirende Kette braucht und dabei mit starken Strömen arbeitet.

Ich stellte unter diesen Verhältnissen einige genauere Beobachtungen mittelst einer Wiedemann'schen Spiegelboussole [1]) an. Die Ablesung der Millimeterskale, deren Entfernung vom Spiegel 2,31 Meter betrug, wurde mittelst eines Fernrohres vorgenommen. Ich brachte jedes Mal die Leitungsrollen in eine solche Entfernung von dem in einem kupfernen Kasten eingeschlossenen Stahlspiegel, dass der durch einen senkrechten, in der Ocularblendung ausgespannten Faden gemessene Skalenausschlag in dem Gesichtsfelde des Fernrohres blieb. Nennt man φ den Drehungswinkel, welcher der durch den Strom bewirkten Ablenkung entspricht, e die Grösse des Ausschlages in Millimetern und d die oben erwähnte Entfernung, so hat man $\text{tg}.2\varphi = \frac{e}{d}$. Die Tangenten von φ lassen dann die Verhältnisse der Stromstärken bestimmen.

Die auf diese Art angestellten Beobachtungen lieferten:

---

[1]) G. Wiedemann, Die Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus. Bd. II. Braunschweig, 1861. 8. S. 198. 199.

Batterie.	Beschaffenheit des Schliessungsbogens.	Zeit in Minuten.	Ablenkungswinkel.	Verhältnissmässige Stromstärke.
1) Acht kleine Zinkkohlenplatten und verdünnte Schwefelsäure.	Rein metallisch.	0 [1])	$2^0 22'{,}5$	1
		5	$2^0 26'$	1,028
		10	$2^0 22'$	1,0
		15	$2^0 16'$	0,958
		20	$2^0 15'$	0,951
		25	$2^0 13'$	0,936
		30	$2^0 11'$	0,922
2) Drei grosse Zinkkohlenelemente und verdünnte Schwefelsäure.	Rein metallisch.	0	$2^0 53'$	1
		5	$2^0 39'$	0,919
		10	$2^0 27'$	0,849
		15	$2^0 17'$	0,792
3) Dieselbe Batterie.	In dem Bogen zwei Nadeln, die in den Obersehenkel eines Frosches in wechselseitiger Entfernung von einem Centimeter eingesteckt waren. Mittlerer Durchmesser des Obersehenkels 9 Millimeter.	0	$0^0 55'$	1
		5	$0^0 52'$	0,95
		10	$0^0 59'$	1,07
		15	$0^0 59'$	1,07
		20	$0^0 58'$	1,06
4) Dieselbe Batterie.	Der gleiche Schliessungsbogen.	0	$1^0 11'$	1
		2	$1^0 8'$	0,96
		4	$1^0 7'$	0,94
		6	$1^0 6'$	0,93
		46	$1^0 0'$	0,85
5) Acht Grove'sche Elemente.	Derselbe.	0	$5^0 25'$	1
		5	$5^0 17'$	0,98
		10	$5^0 2'$	0,93
6) Dieselben.	Derselbe.	0	$2^0 6'$	1
		5	$2^0 0'$	0,95
		15	$2^0 0'$	0,95
		67	$1^0 27'$	0,69
7) Zwölf kleine Daniell'sche Elemente.	Derselbe.	0	$0^0 59'$	1
		5	$1^0 05'$	1,03
		10	$1^0 3'$	1,07
		15	$1^0 1'$	1,03
		20	$1^0 5'$	1,10
		25	$1^0 5'$	1,10
		35	$1^0 7'$	1,14
		75	$1^0 3'$	1,07
		210	$0^0 48'$	0,81
		1090	$0^0 13'{,}5$	0,23

Man sieht aus diesen Werthen, dass die von mir gebrauchte Grove'sche Batterie keineswegs den Grad von Beständigkeit zeigte, den man von vorn herein zu erwarten geneigt war. Da sich die Obersehenkeltheile in dem Schliessungsbogen unter ähnlichen Verhältnissen, wie in den gewöhnlichen Versuchen befanden, folglich ein sehr grosser äusserer Widerstand in beiden Fällen vorhanden war, so folgt, dass man kein zu grosses Vertrauen auf die Beständigkeit

[1]) Diese Null bedeutet den Augenblick in welchem der Spiegel sich wiederum in seiner neuen Stellung so weit beruhigt hatte, dass man die Ablesung vornehmen konnte.

der Grove'schen Batterie in physiologischen Versuchen setzen darf. Ich muss bemerken, dass die Thoncylinder der von mir benutzten Elemente sehr fein und porös waren. Die Diffusion bewirkte schon nach kurzer Zeit, dass die Salpetersäure weit weniger als im Anfange gefärbt erschien.

Es ergibt sich ferner, dass man eine mit verdünnter Schwefelsäure geladene grössere oder kleinere Batterie von Zink-Kohlenelementen, wie sie auf den Telegraphenbureaus vorräthig sind, eben so gut und wenigstens nicht mit der Gefahr grösserer Unbeständigkeit, als eine Grove'sche Batterie, für physiologische Versuche benutzen kann. Beide standen dagegen der aus zwölf kleinen Daniell'schen Elementen zusammengesetzten Batterie, die sich als die verhältnissmässig beständigste erwies, sichtlich nach. Die von Siemens [1]) vorgeschlagene Einrichtung der Daniell'schen Elemente wird sich wahrscheinlich noch beständiger erweisen.

Die Zahlenwerthe, welche die letztere lieferte, stimmen mit den Angaben von Petrusehefsky [2]), nach denen man zuerst eine Zunahme der Stromintensität, dann ungefähre Gleichheit und endlich Abnahme hat. Dasselbe wiederholte sich für die Zink-Kohlenbatterieen Nr. 1, Nr. 3, nicht aber für die von mir gebrauchte Verbindung der Grove'schen Elemente.

Man muss bei dem gewöhnlichen Aufschreiben der Muskelcurven immer im Auge behalten, dass man hier nur die ersten und gröbsten Annäherungen im glücklichsten Falle bekommt. Obgleich ein genau eingestellter mit dünnflüssiger Dinte befeuchteter Pinsel sehr feine Curven auf glattem Papier zeichnet und hierbei die Reibung gering ausfällt, so hat er doch, wie ein zum Einkratzen in Russ gebrauchtes Haar den Nachtheil, dass sich die schreibenden Haare mehr oder minder biegen und gleichsam wie ein Besen kehren, so dass die Curve ungenau wird. Das verhältnissmässig beste Verfahren, die Linien auf berusstem Glase durch einen Stahlstift auskratzen zu lassen, erzeugt immer einen grössern oder geringern Grad von Reibung. Diese verkleinert aber die Umdrehungsgeschwindigkeit des Cylinders oder der Scheibe um so mehr, je mehr jene als Folge einer Uebersetzung einer Reihe von Achsen auftritt, je grösser also die hierdurch bedingte Schnelligkeit ist und je stärker der Stift drückt.

---

[1]) G. Wiedemann, Die Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus. Bd. I. Braunschweig, 1861. 8. S. 261.

[2]) Ebendaselbst S. 273 — 75.

Man irrt daher, wenn man die Berechnungen nach derjenigen Drehungsgeschwindigkeit anstellt, welche der Cylinder oder die Scheibe ohne Berührung des Stiftes darbietet. Bestimmt man die Werthe nach der langsameren Bewegung einer früheren Achse des Uhrwerkes, so muss man nur die Grössen nehmen, welche während des Einkratzens des Stiftes auftreten, nicht aber noch die übrigen Zeiten benutzen. Bedenkt man ferner, dass sich der Russ z. B. einer reinen Terpenthinölflamme nicht ganz gleichförmig aufzulegen pflegt, dass er kleine Cylinder von Kohle nicht selten enthält, so werden die Widerstände, die er dem Schreibstifte entgegensetzt, an den verschiedenen Stellen ungleich ausfallen. Man hat daher keine gleichförmige Geschwindigkeit während der Dauer des Aufzeichnens. Ist die Umdrehungsgeschwindigkeit gross und die Reibung irgend stark, so hört man auch oft, dass die Höhen der erzeugten Töne während des Aufschreibens wechseln.

Da ich nur kleine Geschwindigkeiten für die hier dargestellten Untersuchungen brauchte, so begnügte ich mich damit, die Curven auf einer berussten Glasplatte einkratzen zu lassen. Ich möchte aber bei dieser Gelegenheit bemerken, dass es wahrscheinlich möglich sein wird, Curvendarstellungen ohne Berührung, mithin ohne alle die erwähnten Hindernisse zu erhalten. Statt des Schreibstiftes ein Röhrchen zu wählen, aus dem ein feines Pulver, wie aus einer Sanduhr, oder eine gefärbte Flüssigkeit auf eine unter demselben rotirende Platte abläuft, geht der Centrifugalkraft wegen nicht. Dagegen wird man wahrscheinlich zum Ziele gelangen, wenn man ein dünnes Metallblatt auf der sich drehenden Scheibe befestigt, einen in Gang befindlichen Ruhmkorff'schen Apparat einschaltet und die Sache so einrichtet, dass kleine Funken zwischen einer Stahlspitze und der rotirenden Scheibe fortwährend durchschlagen und daher eine aus Brandzeichen bestehende Curve liefern.

Zeichnet man auf einem Cylinder auf, so kann man am Einfachsten die Beschaffenheit der Curve durch rechtwinklige Coordinaten zu ermitteln suchen. Ich lieferte aber schon an einem anderen Orte [1]) Bilder von Muskelcurven, die ich durch eine sich drehende wagerechte oder senkrechte Scheibe erhalten hatte. Findet keine Zusammenziehung statt, so bekömmt man einen Kreis. Die Verkürzung erzeugt eine bogenförmig herumgehende Ausweichung. Wollte man diese Curven ausmessen, so käme man durch Polarcoordinaten am

[1]) Grundriss der Physiologie. Vierte Auflage. Braunschweig, 1855. S. S. 529.

Ehesten zum Ziele. Man nimmt einen beliebigen Halbmesser als feste Achse, zieht aus dem Mittelpunkte des Kreises einen Fahrstrich nach dem Curvenpunkte, den man im Auge hat und bestimmt den Winkel, den er mit der festen Achse bildet, durch den Kreisbogen, der zwischen beiden Linien liegt. Nennt man diesen α und die Länge des Fahrstriches r, so kann man die in Polarcoordinaten ausgedrückte Gleichung einer Curve auf eine solche in rechtwinkligen Coordinaten bringen, wenn man $x = r \cos. \alpha$ und $y = r \sin. \alpha$ setzt und x die Abscisse und y die Ordinate bezeichnet und der Mittelpunkt den Anfangspunkt in beiden Coordinatensystemen bildet.

Die aufzeichnende Vorrichtung war im wesentlichen die gleiche, wie die, welche ich in meinem Grundrisse S. 528 Fig. 374 abgebildet habe. Ich liess nur noch eine obere dritte Gleitungsrolle anbringen, um das Ausweichen des Schreibhebels zu hindern. Man konnte in diesen zwei oder selbst vier spitze Stahlstifte hinter einander einschrauben, um dieselbe Bewegung des Hebels in mehreren Curven gleichzeitig aufschreiben zu lassen. Vier sehr lange Stellschrauben des Unterlagsbrettes dienten zur Regulirung der nöthigen Einstellung. Da die Höhen der Schraubengänge klein waren, so konnte man den Stift gerade in die Lage bringen, dass er mit wenig Reibung aufschrieb. Er selbst wurde nach Belieben höher oder tiefer in dem Hebel befestigt. Der hintere Theil der Vorrichtung (e Fig. 374) trug eine angeschraubte Korkplatte, um den Frosch darauf anbinden und die nöthigen Nadeln fester einstechen zu können. Die Wagschale, auf welche die Belastungsgewichte kamen, nebst deren Aufhängefäden und Befestigungshaken wogen 8,5 Grm., so dass diese Grösse immer in der Folge zu dem aufgelegten Gewichte hinzuaddirt wurde. Ist keine Belastung in den spätern Versuchen besonders angegeben, so betrug sie 18,5 Grm.

Wollte man eine Versuchsreihe mit einer Batterie anstellen, so verfuhr man folgendermassen. Die eine Elektrode der gebrauchten Batterie ging zuerst zu einem Pohl'schen Stromwender, durch den man die Stromesrichtung ändern und zugleich die Batterie bis unmittelbar vor dem Gebrauche offen lassen konnte. Sie begab sich von da zu einem du Bois-Sauerwald'schen Rheochord oder zu einem Rheostaten, der 20 Wegstunden Länge schweizerischen Telegraphendrathes mit Abstufungen bis zu $^1/_{10}$ Stunde einzuschalten erlaubte und trat von hier zu der nicht isolirten Klemme des Uhrwerkes, so dass die zweite Achse des letzteren die Verbindung mit dem den Quecksilbertropfen durchsetzenden Stahlstifte herstellte. Von diesem Tropfen

trat ein Eisendrath zu einem sehr dünnen Kupferdrathe, der die Verschiebung des den Quecksilbertropfen tragenden Holztellers möglich machte. Dieser verband sich mit einem Drathe, der zu der isolirten Klemme des Uhrwerkes verlief; sie nahm zugleich den Endtheil der Elektrode auf, der die eine unpolarisirbare Berührungsvorrichtung trug. Die zweite mit einer ähnlichen Vorrichtung versehene Elektrode kam unmittelbar von dem Stromwender. Hatte man also das Einsatzstück des letzteren in die der beabsichtigten Stromesrichtung entsprechenden Quecksilberräume eingefügt, so brauchte man nur das Uhrwerk in Gang zu setzen. So wie der an der zweiten Achse befestigte Stahlstift den Quecksilbertropfen durchschnitt, erhielt man den Schluss und die Oeffnung der Batterie. Die Dauer des Durchganges bestimmte natürlich die Zeit, während welcher der galvanische Kreis geschlossen blieb.

Da alle willkürlichen Bewegungen des Frosches beseitigt sein mussten, so wurde das Gehirn mit einer Nadel zerstört. Man kann diese Operation bei einiger Uebung ohne alle beträchtliche Blutung vornehmen. Das verlängerte Mark wurde geschont, um den Kreislauf in möglichst regelrechtem Zustande zu erhalten. Der Frosch wurde dann auf die Korkplatte der Fig. 374 a. a. O. abgebildeten Vorrichtung so festgebunden, dass nur ein Hinterbein gerade hinausragte.

Man legte die Achillessehne bloss, sonderte sie und den unteren Theil des Wadenmuskels von den Nachbargebilden, durchschnitt die Letzteren gänzlich und entfernte oft das untere Dritttheil des Unterschenkels mit Ausnahme der Achillessehne, die ihre natürliche Verbindung mit dem Fusse beibehielt. Der Letztere wurde meist enthäutet, seine Zehenhälfte hinweggeschnitten, der Rest in die Zange (b Fig. 374.) des Schreibhebels eingeklemmt und diese möglichst stark zugeschraubt. Man stach den unteren Theil des Oberschenkels und, wenn es nöthig war, auch den Unterschenkelstumpf mit Nadeln, die in die Korkplatte drangen, fest, nachdem man den Wadenmuskel so gerichtet, dass er und die Achillessehne in die geradlinigte Verlängerung des Schreibhebels (br Fig. 374.) zu stehen kam. Ich machte hierauf zwei der Gegend des Hüftnerven entsprechende Einschnitte in die Haut und schob unter diese je einen Endtheil einer unpolarisirbaren Elektrode oder stach die amalgamirten Nadeln, je nach dem Bedürfnisse des Versuches ein.

War dieses geschehen, so kritzte ich ein einem Halbmesser entsprechendes Linienstück mit Nadel und Lineal bei jedem genaueren

Versuche auf der berussten Glasplatte ein. Diese war auf der dritten oder der vierten Achse des Uhrwerkes wagerecht befestigt. Die Halbmesserlinie diente später zur richtigen Orientirung der Stellung des Schreibhebels. Er musste natürlich bei der Verkürzung in der Richtung eines Halbmessers ausweichen. Man liess dann das Uhrwerk gehen, bis sich der für den Quecksilbertropfen bestimmte Stahlstift nicht weit von diesem befand und der auf der Glasplatte gezeichnete Halbmesser im Verhältniss zur Schreibvorrichtung passend einstand. Nun wurde der Schreibhebel der Letzteren so gestellt, dass er in die Richtung des Halbmessers fiel. Es versteht sich von selbst, dass annähernd entsprechende Hubhöhen und brauchbare Curven überhaupt nur auf diese Art erhalten werden. Man senkte den schreibenden Stahlstift des Schreibhebels mittelst der an dem Grundbrette des Ganzen angebrachten grossen Stellschrauben so lange, bis er das Bruchstück des eingekritzten Halbmessers berührte und dann einen Kreis aufzeichnete, so wie das Uhrwerk zu gehen begann. Hatte man den für den Quecksilbertropfen bestimmten Stahlstift in passender Entfernung von diesem aufgestellt, so wurde der Kreis vollendet, ehe die Zuckung des Muskels eintrat. Man war daher sicher, die nöthige Basis für die ferneren Bestimmungen zu haben. Da die Reibung des Aufzeichnungsstiftes die Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe änderte, so konnte man den mittleren Werth derselben leicht bestimmen, wenn man gleichzeitig nachsah, wie lange es dauerte, bis der an der zweiten Achse des Uhrwerkes befindliche Schliessungsstift von dem Rande des Holztellers, der den Quecksilbertropfen trug, ausging und zu demselben zurückkehrte. Befand sich die Glasscheibe auf der dritten oder der vierten Achse, so irrte man sich für jeden einzelnen Umgang von dieser nur um $^1/_{10}$ oder $^1/_{100}$ des Fehlers, den man bei der Beobachtung der Bewegung der zweiten Achse gemacht hatte. Man deutete endlich die Umdrehungsrichtung der Scheibe mit eingekritzten Pfeilen an. Eben so wurde sogleich die Curve der Schliessungszuckung und die der Oeffnungszuckung mit besonderen Zeichen unterschieden.

Die Zerstörung des Gehirns lässt bisweilen einen Zustand von Ueberreizung zurück, dessen Folgen wir in §. 9. betrachten werden. Man musste sich daher vor jedem genauern Versuche überzeugen, ob jene übergrosse Gegenwirkung vorhanden war oder nicht und in welchem Masse sie in dem ersteren Falle nachtheilig eingriff.

Wollte man mit dem Magnetelektromotor arbeiten, so wurde nur die Veränderung vorgenommen, dass man die mit dem Stromwender,

dem Rheochord oder dem Rheostaten und dem Uhrwerke verbundenen Dräthe mit der primären Spirale und die unpolarisirbaren Elektroden mit den Dräthen der secundären Spirale eines Schlittenapparates in Verbindung brachte. Die Verschiebung des Schlittens machte natürlich dann die verschiedensten Abstufungen der einwirkenden Inductionsströme möglich.

Handelte es sich darum, nur einen einzigen Inductionsschlag zu benutzen, so wurde Alles, wie oben beschrieben, angeordnet und das Hammerwerk des Magnetelektromotors durch die Schraube unbeweglich gemacht. Dasselbe geschah, wenn man den Extrastrom abzuleiten beabsichtigte.

Wollte man die gezeichneten Curven aufbewahren, so legte man die bewusste Glasscheibe auf eine Korkplatte und brachte auf diese ein Stück dünnen Gallertpapiers, das an der einen Seite mässig befeuchtet war. Die benetzte Fläche kam mit dem Russe in Berührung. Man musste hierbei acht geben, dass einerseits die Benetzung nicht zu schwach sei und dass anderseits keine Wassertropfen haften blieben, die störend eingreifen konnten. Strich man mit dem Fingernagel darüber, so drückte sich Alles bei glücklichem Gelingen vollständig ab. Man klebte sogleich das Gallertpapier mit seiner geschwärzten Seite auf einen mit weissem Papiere überzogenen steifen Pappdeckel mittelst flüssigen Leimes und liess das Ganze zwischen zwei ebenen Brettern gepresst trocknen.

Man kann dann die Ausmessung in folgender Weise vornehmen. Da ein voller Kreis der bekannten Dauer eines Umganges der Scheibe entspricht, so gibt der entsprechende Bogen an, wie lange z. B. die Schliessungs- oder die Oeffnungszuckung angehalten hat und welche Zeit die Kette geschlossen blieb. Man hätte nun zunächst den Mittelpunkt des Kreises in der Figur anzugeben. Er entspricht daher einem unbekannten Puncte des hellen Kreises, der durch die Befestigungsschraube erzeugt wird, (siehe z. B. Fig. 2). Man zieht daher z. B. zwei von den Enden des zu bestimmenden Bogens ausgehende und in einem Punkte der Peripherie zusammenstossende Sehnen. Diese bilden natürlich den entsprechenden Peripheriewinkel. Misst man ihn mit dem Transporteur und verdoppelt ihn, so hat man den entsprechenden Centriwinkel oder die gesuchte Bogenlänge. Da man dieses Verfahren an so vielen Punkten der Peripherie, als man will, wiederholen kann, so lässt sich der Winkel viele Male bestimmen und so ein richtigerer Mittelwerth für denselben gewinnen.

Man könnte auch noch die drei Seiten des durch die beiden Endpuncte des Bogens und den beliebigen Punct des Umkreises bestimmten Dreieckes messen und den gesuchten Peripheriewinkel aus ihnen berechnen.

Da man den Mittelpunct für manche andere Ausmessungen nöthig hat, so wird man ihn in solchen Fällen am Einfachsten erhalten, wenn man zwei Sehnen zieht, diese halbirt und den Durchschnittspunkt der in den zwei Halbirungspuncten errichteten Senkrechten aufsucht. Ich schrieb in der Regel mehrere Versuchsergebnisse auf derselben Glasplatte auf. Man hatte also dann eine Reihe concentrischer Kreise. Dieses gestattet es, die Länge der Halbmesser zu berechnen, mithin auch die Lage des Mittelpunktes an-

Fig. 1.

zugeben. Man zieht in dem einen Kreise eine beliebige Sehne a d eines Bogens a b d und legt ihr parallel eine Sehne e g des zweiten concentrischen Kreises. c sei der gemeinschaftliche Mittelpunct beider Kreise, so mache man c b senkrecht auf e g und also auch auf a d, wobei natürlich a d und e g gehälftet werden, und führe e i parallel b c. Man kann a d, e g und e i an den aufgezeichneten Kreisen unmittelbar messen. Bezeichnet man aber $\frac{a\,d}{2} = a\,h$ mit m, $\frac{e\,g}{2} = e\,f$ mit n, e i mit p, ferner den Halbmesser $a\,c = b\,c$ mit R, den Halbmesser $e\,c = k\,c$ mit R′, den Unterschied $R - R'$ oder a e mit q und den

halben Centriwinkel a c b, der a e i gleicht, mit α, so hat man zunächst tg. $\alpha = \frac{a\,i}{e\,i} = \frac{m-n}{p}$, also eine neue Bestimmungsweise des schon oben behandelten Centriwinkels, der dem Zeitbogen entspricht. Kennt man diesen, so ergibt sich unmittelbar der Halbmesser $R' = \frac{n}{\sin.\ \alpha}$, so dass man hiernach den auch sonst leicht zu findenden Mittelpunkt bestimmen kann. Eben so ist der zweite Halbmesser $R = \frac{m}{\sin.\ \alpha}$. Man erhält endlich $q = \frac{m-n}{\sin.\ \alpha}$.

Die nähere Untersuchung der Muskelcurven wird am Einfachsten dadurch vollführt, dass man einen Halbmesser eines der gleichzeitig aufgezeichneten Kreise als feste Achse betrachtet und einen Fahrstrich nach dem in Betracht gezogenen Curvenpunkte von dem Mittelpunkte aus zieht. Der von beiden eingeschlossene Winkel, den man noch für die Bestimmung nach Polarcoordinaten braucht, kann unmittelbar gemessen oder nach einer der oben für den Centriwinkel angegebenen Verfahrungsarten mittelbar bestimmt werden. Es versteht sich übrigens von selbst, dass die Methode des Aufschreibens auf der Glasplatte viel zu fehlerhaft ist, als dass man den Versuch wagen könnte, die Gleichung einer Muskelcurve durch die Messung einer Anzahl von Fahrstrichen und der entsprechenden mit der festen Achse gebildeten Winkel aufzusuchen.

Die Muskelcurven machen es nicht nur möglich, die Verkürzungsgrösse bei einer gegebenen Belastung kennen zu lernen, sondern auch die zeitlichen Verhältnisse genauer zu verfolgen. Die Zeitbogen lassen schliessen, wie lange z. B. eine Schliessungs- und wie lange eine Oeffnungszuckung dauerte, welche Zeitgrösse es forderte, bis der Muskel zu seiner früheren Länge aus dem Zustande der Zusammenziehung zurückkehrte u. s. w. Wir werden sehen, dass solche Zeitbestimmungen einen durchgreifenden Einfluss auf manche Folgerungen ausüben.

§. 2. Die allgemeinen Zuckungsgesetze des lebenden Nerven und Muskels.

Nachdem die Erfahrungen von mir [1]), Bernard, Wundt und Schiff dargethan hatten [2]), dass der lebende Nerv und Muskel, wenn einer

[1]) Lehrb. der Physiologie des Menschen. Bd. II. Abth. II. Braunschweig, 1848. S. S. 634.

[2]) Ueber das richtige Verhältniss der früheren Angaben von Nobili in dieser Hinsicht, v. Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rationelle Medicin. Dritte Reihe, Bd. XI. 1861 S. 49, 50.

von ihnen unmittelbar erregt wird, eine Muskelverkürzung nur bei dem Schlusse, nicht aber der Oeffnung der Kette erzeugt, der Strom sei, wie er wolle, gerichtet, so dehnte Pflüger diesen Satz dahin aus, dass sehr starke Ströme nur zu einer Schliessungszuckung bei absteigendem und zu einer Oeffnungszuckung bei aufsteigendem Strome führen. Eine Mittelstufe zwischen diesen von der Stromesrichtung bestimmten und der zuerst genannten von ihr unabhängigen Zuckungsweise bilden die doppelten Wirkungen d. h. die Schliessungs- und Oeffnungsverkürzungen bei beiden Stromesrichtungen.

Es gibt Frösche, welche das gewöhnliche Zuckungsgesetz des lebenden Nerven, mithin eine Zusammenziehung nur bei dem Schlusse der Kette für jegliche Stromesrichtung liefern, wenn z. B. die Ströme einer aus 8 Elementen bestehenden Grove'schen und einer aus 6 grossen mit Schwefelsäure geladenen Zink-Kohlenelementen zusammengesetzten Batterie mit Ausschaltung allen Rheostaten-Widerstandes durch den Oberschenkel geleitet werden. Ich konnte die Schliessung abwechselnd in auf- und in absteigender Richtung mehr als ein Dutzend Male wiederholen, ohne dass sich die Norm änderte. Sie bewährte sich wenn ich die Wagschaale des Schreibapparates, die der Muskel während seiner Verkürzung heben musste, mit 10, 20, 50, 100 oder 150 Grm. beschwert hatte, die Gesammtlast also noch 8,5 Grm. mehr betrug. Die Frösche, an denen ich diese Beobachtungen anstellte, waren klein, den Winter über in der Gefangenschaft aufbewahrt und daher keineswegs ausserordentlich lebhaft. Die Erfahrungen bezogen sich also durchschnittlich auf keine sehr günstige Versuchsgegenstände. Ich erwähnte ausserdem schon an einem andern Orte [1]), dass mir kräftige Sommerfrösche das gewöhnliche Zuckungsgesetz des lebenden Nerven in den ersten zwei oder drei Versuchen lieferten, wenn man eine aus 100 Zink- und Kohlenplatten bestehende Batterie gebrauchte, diese zu 20 Elementen von fünffacher Oberfläche verband und der Kettenschluss sogleich die stärkste Elektrolyse, Gasaustritt und Verbrennen der Theile erzeugte. Dasselbe wiederholte sich bei der Benutzung von 8 grossen Bunsen'schen Elementen.

Die Wirkung so starker Ströme führt zu den ausgiebigsten Zusammenziehungen. Die Hubhöhen können mehr als das Doppelte von dem, was die Benutzung schwacher Ketten liefert, erreichen. Die Zeiten verlängern sich in auffallendster Weise. Dreht sich z. B. die berusste Scheibe in 1,7 oder 1,8 Secunden ein Mal herum,

[1]) Ebendas. S. 51.

so beträgt die Zuckungsdauer nur einen, meist verhältnissmässig kleinen Bruchtheil z. B. nur $^1/_{12}$ bis $^1/_5$ einer Umdrehung, wenn schwächere Ketten wirken, so starke Ströme dagegen, als die eben erwähnten, geben Zuckungen die mehr als eine oder selbst mehr als zwei Umdrehungen anhalten können. Man sieht dabei dann ein allmähliges Aufhören der Ausweichung, das an das asymptotische Absteigen, welches wir bei den Wirkungen des Magnetelektromotors kennen lernen werden, erinnert. Es kommt auch häufig vor, dass der Schreibstift zuletzt zu dem ursprünglichen Ausgangskreise nicht zurückläuft, sondern eine kleine Strecke von ihm längere oder kürzere Zeit nach der Zusammenziehung entfernt bleibt. Da diese Erscheinung bei hohen Gewichtsbelastungen der Wagschaale ebenfalls auftritt, so beruht sie dann nicht auf einer von den Reibungswiderständen herrührenden Täuschung. Sie muss vielmehr als eine nachträgliche in Vergleich zur ursprünglichen Grösse verharrende Längenabnahme gedeutet werden.

Ich baute 8 Grove'sche Elemente auf und verband sie das eine Mal hinter einander und das folgende Mal nebeneinander, so dass das Ganze ein einziges Element mit 8 Mal so grosser Oberfläche in dem letzteren Falle darstellte. Die wechselseitig nur 3 Millimeter abstehenden Enden der Elektroden hafteten in dem oberen Theile des Oberschenkels eines vor kurzer Zeit eingefangenen kleinen Frühlingsfrosches. Die Schliessung der Kette wurde, wie gewöhnlich, durch den Quecksilbertropfen des Uhrwerkes erzeugt. Man hatte dann der Reihe nach:

Kette.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe der Schliessungszuckung in Millimetern.	Zeit des Ansteigens der Verkürzung von Null bis zum Maximum in Secunden.
8 Elemente	p.	$5^2/_3$	0,30
1 Element von 8facher Oberfläche.	p.	$3^2/_3$	0,125
8 Elemente.	p.	$5^1/_2$	0,20
1 Element von 8facher Oberfläche.	p.	$1^2/_3$	0,095
Desgl.	c.	$1^2/_5$	0,095
8 Elemente.	p.	$4^1/_4$	0,20
Desgl.	c.	$3^2/_3$	0,16

Die Combination von 8 Elementen hinter einander wirkte stärker als die von 8 Elementen neben einander. Der Unterschied

hätte sich nach dem Ohm'schen Gesetze vorausagen lassen [1]), da der äussere Widerstand beträchtlich war. Mochte man aber die für die thermischen Wirkungen ungünstigere Verbindungsweise haben oder nicht, so kam doch immer nur eine Schliessungs- und nie eine Spur von Oeffnungszuckung zum Vorschein.

Es ereignete sich, dass die Schliessungszuckung, die bei dem ersten an dem lebenden Thiere angestellten Versuche erschien, eine merklich kürzere Hubhöhe und eine geringere Zeitdauer lieferte, als die späteren. Der Nerv war also durch die Einwirkung des ersten so starken Stromes empfänglicher geworden. Eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit durch die folgenden Ströme fand nicht mehr statt. Dieser Fall bildet jedoch eine keineswegs häufige Ausnahme. Ich hatte Fälle, in denen ich den Strom von 8 Grove'schen und 6 grossen Zinkkohlenelementen zusammen abwechselnd auf- und absteigend vier Mal hinter einander schloss und die Muskelcurven fast gleich lang und nicht wenig in ihrer Höhe verschieden ausfielen. Das Maximum der Höhe erschien bei der dritten am Grössten, bei der vierten am Kleinsten, nächst bedeutender bei der ersten und höher bei der zweiten. Die Abnahme der Längenverkürzung geht also nicht immer geraden Schrittes mit der Zahl der Verkürzungen.

Man würde irren, wenn man annehmen wollte, dass eine sehr starke elektrische Erregung des Nerven diesen jedes Mal in einem gewissen Grade erschöpfte. Ich habe einen Versuch angestellt, der das Gegentheil anschaulich macht. Die aus 8 Grove'schen und den 6 grossen Zink-Kohlenelementen bestehende Batterie diente als Erreger. Sie wurde nach je einem Umgange der zweiten Achse des Uhrwerkes ein Mal geschlossen und ein Mal geöffnet. Ich liess die Scheibe zwei oder mehrere Male umlaufen, so dass jedes Mal der Hebel eine der Schliessungszuckung entsprechende Bewegung machte. Man sah dann in glücklichem Falle nur eine Curve, weil die einzelnen Schliessungscurven congruent zusammenfielen, beiläufig ein Beweis für den regelmässigen Gang des Uhrwerkes, da sich die berusste Glastafel 10 Mal herumdrehte, während der den Schluss und die Oeffnung bewirkende Stahlstift einen Umlauf machte. Hieraus folgt, dass mehrere durch verhältnissmässig grosse Zeiträume unterbrochene sehr starke Erregungen des lebenden Nerven Verkür-

[1]) Die Erläuterung, die hier zu weit führen würde, findet sich in den meisten physikalischen Lehrbüchern. Vergl. z. B. A. Kunzek, Lehrbuch der Physik mit mathematischer Begründung, Wien, 1853. S. S. 5 43, 544. — G. Wiedemann, Die Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus. Bd. I. Braunschweig, 1861. 8. S. 112, 113.

zungen von gleichem Verlaufe und gleicher Dauer, also ohne alle verändernde Erschöpfungswirkung erzeugen können.

Die doppelten Wirkungen, welche die nächst stärkeren Ströme herbeiführen, zerfallen in vier in einander übergehende Hauptklassen. Die erste besteht darin, dass noch der Einfluss des gewöhnlichen Zuckungsgesetzes des lebenden Nerven vorherrscht. Man hat eine Schliessungszuckung für beide Stromesrichtungen, welche die Oeffnungszuckung an Hubhöhe und Zeitdauer der Verkürzung übertrifft. Die zweite Klasse umfasst die am wenigsten klaren Fälle, in denen die Gesetzmässigkeit nicht scharf hervortritt und bald die Schliessungs-, bald die Oeffnungszuckung die Oberhand gewinnt. Man erhält ein Vorherrschen der Oeffnungszuckung an Hubhöhe und Zeitdauer in der dritten Classe. Das Charakteristische besteht darin, dass das Gleiche bei jeder der beiden Stromesrichtungen auftritt. Die Oeffnungszuckung verräth schon meist den Charakter derjenigen Erscheinung, die wir mit dem Namen des Oeffnungklonus später bezeichnen werden. Die erste kleinere Abtheilung der Curve hat eine geringere Ansteigung und eine kürzere Dauer. Ihr Ende liegt dem Ausgangskreise bedeutend näher. Die zweite Abtheilung ist länger, höher und verläuft sich zuletzt allmäliger. Die vierte Classe doppelter Wirkungen endlich bildet den Uebergang zu den einseitigen, die man durch sehr starke Ketten erhalten kann. Man hat zwar noch Schliessungs- und Oeffnungszuckungen bei beiden oder bisweilen selbst schon nur bei einer Stromesrichtung. Allein die Schliessungszuckung überwiegt bei absteigender und die Oeffnungszuckung bei aufsteigender Stromesrichtung.

Ich stiess auf diesem Gebiete auf manche Erfahrungen, die allen theoretischen Erwartungen widersprachen. Man sollte glauben, dass ein mit einer grösseren Last beschwerter Muskel eher die Schliessungs- als die viel höhere und länger dauernde Oeffnungszuckung verlieren werde, wenn er nach der dritten Klasse der doppelten Wirkungen antwortet. Ich habe Versuche, für welche das Gegentheil eintrat. Ein matter, den Winter über gefangen gehaltener Frosch gab z. B. bei 8 Grove'schen Elementen, ausgeschaltetem Rheostatenwiderstande und 28,5 Grm. Gesammtbelastung eine niederere und kürzer dauernde Schliessungs- und eine höhere und länger anhaltende Oeffnungszuckung bei jeder der beiden Stromesrichtungen. Beschwerte ich aber die Wagschaale mit 50 und später mit 100 Grm., so erhielt ich immer nur das gewöhnliche Zuckungsgesetz des lebenden Nerven. Der stärker angespannte und gewiss

nicht dadurch lebenskräftiger gemachte Muskel war also nicht im Stande die dem Oeffnungsklonus verwandte sonst energischere Oeffnungszuckung zu liefern, obwohl er noch ergiebige Schliessungszuckungen geben konnte. Es kommt aber auch vor, dass ein oder mehrere erste Versuche mit geringerer Belastung das Zuckungsgesetz des lebenden Nerven und die nachfolgenden eine lange und ungleiche Oeffnungszuckung darbieten. Diese hängt daher nicht sowohl von der Belastung, Dehnung und Kraftwirkung des Muskels, als von dem Elektrotonus ab, der bei starken Ketten nur eine kurze Zeit anzuhalten braucht, um die Thätigkeit selbst der lebenden Nerven sichtlich zu ändern.

Nahm ich matte Frösche, die den Winter über in der Gefangenschaft zugebracht hatten, und liess auf ihren Hüftnerven den Strom von 8 Grove'schen Elementen bei Ausschaltung allen Rheostatenwiderstandes einwirken, so ereignete es sich, dass schon der erste Doppelversuch nur eine Schliessungszuckung bei absteigendem und eine Oeffnungszuckung bei anfsteigendem Strome lieferte. Hält man dieses mit dem Früheren zusammen, so folgt, dass es matte Frösche gibt, deren lebender Nerv die Stufe des gewöhnlichen Zuckungsgesetzes und die Norm der doppelten Wirkungen bei starken Strömen überspringt, um sogleich nach dem Gesetze der einseitigen Wirkungen nach Verschiedenheit der Stromesrichtungen zu antworten, so wie es umgekehrt kräftige Frösche gibt, welche die stärksten Ströme nur nach dem gewöhnlichen Zuckungsgesetze des lebenden Nerven erwiedern.

Hatte ich nur eine Schliessungszuckung bei absteigendem und nur eine Oeffnungszuckung bei aufsteigendem Strome bekommen, so zeigten sich bisweilen sogleich doppelte Wirkungen, so wie ich 5, 10 oder 21 Wegstunden Rheostatenwiderstandes einschaltete. Es kam auch hin und wieder vor, dass nur die ersten Versuche, die mit ausgeschaltetem Widerstande angestellt wurden, einseitige mit der Stromesrichtung wechselnde, die späteren dagegen doppelte Wirkungen lieferten, so dass dann der Nerv durch die starken Ströme nicht erschöpft, sondern scheinbar gekräftigt wurde. Man findet endlich noch in schwachen Fröschen, dass z. B. der erste Versuch, den man mit dem sehr starken Strome macht, eine der Hubhöhe und der Zeit nach beträchtlichere Schliessungs- und eine schwächere Oeffnungszuckung bei absteigendem Strome gibt. Die letztere überwiegt in dem zweiten Versuche, den man mit dem aufsteigenden Strome anstellt. Der dritte und der vierte endlich, den man mit der gleichen

Stromesrichtung macht, liefert nur eine Spur einer Schliessungs- und eine lebhafte Oeffnungszuckung. Die starken Ströme erzeugten also hier eine rasch eingreifende Aenderung der Nerventhätigkeit.

Die kräftige Oeffnungszuckung zeichnet sich häufig durch zwei Merkmale aus. Sie hat einen ungleichen und schwankenden Gang während der Steigung und eine langgezogene, an das Asymptotische erinnernde Erschlaffung. Sie bildet den Vorläufer einer nicht selten auftretenden Erscheinung, die ich mit dem Namen des Oeffnungsklonus bezeichne. Ist nämlich die Oeffnungszuckung vorüber, so bleibt dann der Muskel nicht ruhig, sondern macht noch eine oder viele starke Zuckungen, von denen jede durch einen kleineren oder grösseren Zwischenraum der Ruhe getrennt ist. Man hat mit einem Worte Wechselkrämpfe als einen niederen Grad derjenigen Erscheinung, die man mit dem Namen des Oeffnungstetanus belegt und welche durch die längere Dauer des Geschlossenseins stärkerer Ketten und den dabei stattfindenden Elektrotonus hervorgerufen wird. Der Elektroklonus bildet wahrscheinlich den Ausdruck auf- und niedergehender Nachschwingungen der zu ihrer Gleichgewichtslage übergehenden Nervenmolecüle.

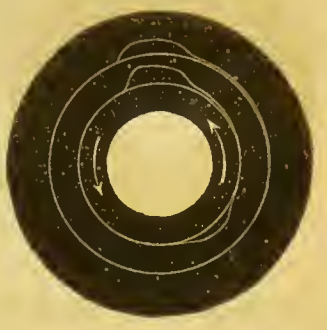
Arbeitet man mit schwachen Ketten, so kehrt der Schreibstift sogleich nach dem Aufzeichnen der Schliessungszuckung zu dem Anfangskreise zurück, vorausgesetzt dass die Wagschaale mit so viel Gewicht beschwert ist, dass die Reibungen an der berussten Glasplatte vollständig überwunden werden. Starke Kettenströme führen häufig zu einem anderen Erfolge. Trägt auch die Wagschaale eine bedeutende Belastung, so befindet sich oft der Zeichenstift in der Zwischenzeit der Schliessungs- und der Oeffnungszuckung nicht auf dem ursprünglichen Ausgangskreise, sondern entfernt von ihm nach der Seite der Verkürzungswirkung hin. Man hat auch bisweilen dasselbe nach der Oeffnung der Kette. Der Muskel bleibt also noch in geringem Grade verkürzt, während die Kette geschlossen ist oder nachdem sie geöffnet worden. Die aufgezeichneten Linien sind spiralig und ohne Anzeichen von auf- und niedergehenden Schwankungen in der Länge des Muskels.

Wir wollen nun die Hauptnormen, die sich aus meinen gesammten Untersuchungen ergeben haben, übersichtlich zusammenfassen und deren Darstellung durch einige ihnen entsprechende Curvenzeichnungen näher erläutern.

1. Das hauptsächlichste, ja, wie wir sehen werden, wahrscheinlich das einzige Zuckungsgesetz des kräftigen und unveränderten leben-

den Nerven besteht darin, dass nur das Einbrechen des nicht zu starken Stromes, nicht aber das Geschlossensein, die Oeffnung der Kette und die Zeit nach derselben eine Zusammenziehung des Muskels darbietet, ganz gleichgültig, in welcher Richtung der Strom den Nerven, den Muskel oder beide zugleich durchfliesst. Man hat daher das an dem äusseren Kreise von Fig. 2 dargestellte Verhältniss.

Fig. 2.



Dieses Zuckungsgesetz kommt nicht bloss in Amphibien und in wachen Säugethieren, sondern, wie ich schon bei anderen Gelegenheiten hervorhob, in den erstarrten Murmelthieren vor, sie mögen sich in tiefstem oder in leisem Wintersehlafe befinden. Der Grad der Erstarrung ändert nur die Stärke und die Geschwindigkeit der Muskelverkürzung, nicht aber das Grundgesetz. Ich fand das Letztere auch an den Hals- und Extremitäten-Muskeln eines 12tägigen Hühnerembryo und an den Muskeln von Kaulquappen, denen noch die Extremitäten mangelten, wieder. Hatte ich das Hüftgeflecht erwachsener Frösche durchschnitten, so erhielt sich das Zuckungsgesetz des lebenden Nerven, so lange die Empfänglichkeit überhaupt bestand [1]). Bleibt der Nerv in seinen natürlichen Verhältnissen, so dauert es in unversehrten oder enthaupteten Fröschen nach dem Tode fort, bis die Empfänglichkeit geschwunden ist.

Die Misshandlungen, welche der Nerv bei der Bereitung der gewöhnlichen Froschpräparate erleidet, ändern seine Stimmung in der Art, dass das Zuckungsgesetz des lebenden Nerven nicht mehr zum Vorschein zu kommen pflegt. Bereitet man sich ähnliche Präparate aus den frisch getödteten Kaninchen nach dem Verfahren, das ich bei einer anderen Gelegenheit empfohlen habe [2]), so kann man hier das Zuckungsgesetz der lebenden Nerven oder Muskeln ein bis zwei Stunden nach dem Tode nachweisen. Aehnliche Präparate, die einem erstarrten Murmelthiere entnommen wurden, liefern es bisweilen einen Tag lang. Ein dickerer Nerv scheint im Allgemeinen einen siegreicheren Widerstand den Misshandlungen entgegenzusetzen.

---

[1]) Siehe das Nähere in Henle und Pfeuffer's Zeitschrift. Dritte Reihe. Bd. XI. 1861. S. 56.

[2]) Henle und Pfeuffer's Zeitschrift. Dritte Reihe. Bd. XV. 1862. S. 234, 235.

2. Stärkere Kettenströme ändern das eben erläuterte Zuckungsgesetz sogleich oder nach wiederholten Einwirkungen insofern, als jetzt doppelte Erfolge auftreten. Man hat eine Schliessungs- und eine Oeffnungszuckung, wie der innere Kreis in Fig. 3 anzeigt. Dieser Fall umfasst aber eine Reihe untergeordneter Modificationen.

Fig. 3.

3. Die Schliessungszuckung ist für beide Stromesrichtungen stärker, als die Oeffnungszuckung. Man erhielt daher zwei Curven, wie es der innere Kreis von Fig. 3 zeigt. Die dem Kettenschlusse entsprechende Curve erscheint höher und länger, als die der Oeffnung angehörende. Jene besitzt also ein grösseres Verkürzungsmaximum und hält zugleich länger an. Diese Norm begegnete mir nicht bloss an erwachsenen Fröschen und Säugethieren, sondern auch an Kaulquappen.

4. Man findet bisweilen den Zwischenfall, dass nur eine Stromesrichtung die eben geschilderte ungleiche doppelte Wirkung, die andere dagegen eine blosse Schliessungszuckung hervorruft.

Fig. 4.

5. Der Gebrauch starker Ketten z. B. der von vier oder acht Groveschen Elementen bei schwachen überwinterten Fröschen führt bisweilen zu einer eigenen Form der doppelten Wirkung, wenn der Schluss und die Oeffnung der Kette nach einem Bruchtheile einer Secunde auf einander folgen. Fig. 4 kann diess näher erläutern. Die innere Curve zeigt die sehr ausgiebige Schliessungszuckung, die bei aufsteigendem Strome allein auftrat. Die äussere, welche einem absteigenden angehört, liefert zuerst eine minder hohe Schliessungscurve. Der Muskel war aber noch nicht völlig erschlafft, als die Oeffnungszuckung einbrach. Diese summirte sich daher mit dem noch vorhandenen Reste der Schliessungszuckung und erzeugte die zweite in der Figur kenntliche Erhebung der Verkürzungslinie.

6. Lassen wir die oben erwähnten schwankenderen doppelten Wirkungen vorläufig unbeachtet, so hat man zunächst die Erschei-

nung, dass die Oeffnungszuckung die stärkere und die längere ist, ganz gleichgültig, in welcher Richtung der Strom den Nerven durchsetzt. Der innere Kreis von Fig. 5. gehört einem Versuche mit absteigendem Strome an. Man sieht die kurz dauernde Schliessungszuckung und die mächtige und lange anhaltende Oeffnungszuckung. Die beiden Curven des äusseren Kreises zeigen dasselbe für einen zweiten, dem ersten folgenden Versuch, bei dem ein aufsteigender Strom wirkte. Man bemerkt die charakteristische Form der Oeffnungszuckung in beiden Fällen. Sie hat zuerst eine geringe Hubhöhe, erreicht für diese ein erstes kleineres Maximum und wächst dann, nachdem sie das Minimum durchlaufen, zu einer Mächtigkeit, deren Maximum das der Schliessungszuckung zu übertreffen pflegt. Wir begegnen hier mit einem Worte zuerst dem Oeffnungsklonus, der verhältnissmässig lange anhält.

Fig. 5.

7. Sehr starke Ketten, welche durch den unversehrten Nerven des enthirnten Frosches geleitet werden, können zu dem Ergebnisse führen, dass der absteigende Strom nur eine Schliessungs- und der aufsteigende bloss eine Oeffnungszuckung darbietet. Die letztere stärkere zeigt dann bisweilen die eben erwähnten Merkmale des Oeffnungsklonus.

Matte oder schon vorher misshandelte Frösche können das Gleiche unter dem Einflusse minder starker Ketten darbieten. Ich stiess dabei z. B. in einem mit Anilin vergifteten Frosche auf den Fall, dass sich dieser Stimmungszustand nur zeigte, wenn man den Strom durch den Nerven leitete. Floss dieser dagegen durch die Muskelmasse, so hatte man nur eine Schliessungszuckung bei aufsteigendem und eine stärkere Schliessungs- und eine schwächere Oeffnungszuckung bei absteigendem Strome.

8. Verfolgt man die Verhältnisse genauer, so ergibt sich mit vieler Wahrscheinlichkeit, dass die doppelten oder die unter Nr. 7 erwähnten einseitigen Wirkungen erst die Folge der Veränderungen bilden, welche der starke durchgeleitete Strom in dem Nerven selbst erzeugt hat. Kräftige Frösche gaben nur das gewöhnliche, von der Stromesrichtung unabhängige Zuckungsgesetz des lebenden Nerven

in dem ersten oder den wenigen ersten Versuchen, wenn ich eine mächtige Zink-Kohlen- oder eine Bunsen'sche Batterie gebrauchte, obgleich die heftigste Elektrolyse, Gasentwicklung und Verbrennung der Gewebe sogleich eintrat. Ich machte ausserdem die gleiche Erfahrung an matten Fröschen, die den Winter über in der Gefangenschaft gelebt hatten, die ich im Frühjahr untersuchte und die nur zu wenigen Beobachtungen der Schwäche ihrer Leistungsfähigkeit wegen dienen konnten. Acht stark geladene Grove'sche Elemente, deren Strom mit möglichst geringem Zwischenwiderstande zugeleitet wurde, erzeugten bei dem ersten Schlusse der Kette durch das Uhrwerk einen so starken Funken, dass die in den Quecksilbertropfen eintretende Stahlspitze zu einer kugligen Masse zusammenschmolz. Dieser Strom führte dessen ungeachtet nur zu einer Schliessungs- und zu keiner Oeffnungszuckung bei jeder der zwei Stromesrichtungen in den vier ersten Beobachtungen, die ich an einem sehr matten Thiere anstellte. Man darf daher die Behauptung aufstellen, dass sich das gewöhnliche Zuckungsgesetz des lebenden Nerven bis zu der Einwirkung der mächtigsten Ströme erhalten kann.

Hat man doppelte Wirkungen, so rührt die Oeffnungszuckung möglicherweise davon her, dass der Strom den Nerven während der Dauer des Kettenschlusses verändert hat. Es kommt dabei vor, dass diese Modification so leise eingreift, dass die Oeffnungszuckung nur bei schwachen, nicht aber bei starken Belastungen auftritt. Sie fehlt auch, so wie die Kräfte des Nerven aus irgend einem Grunde erlahmen oder der Strom sehr geschwächt wird. Diejenige Art derselben, welche den ersten Anfang des Oeffnungsklonus bildet (Nr. 6) verräth unmittelbar, dass schon die, wenn auch nur einen Bruchtheil einer Secunde betragende Dauer des Geschlossenseins der Kette die Beschaffenheit des Nerven zu ändern im Stande war.

Nur ein Umstand hindert mich, es geradezu auszusprechen, dass das gewöhnliche Zuckungsgesetz die einzig wahre Norm der Wirkungsweise des unversehrten, gesunden lebenden Nerven unzweifelhaft darstellt. Liesse sich nämlich darthun, dass nach Nr. 7 ein sehr starker einbrechender aufsteigender Strom nur eine Oeffnungs- und keine Schliessungszuckung erzeugt, wenn er dem allerersten, an einem lebenden Thiere angestellten Versuche entspricht, so würde natürlich der Mangel der Schliessungswirkung gegen die vollgültigste Allgemeinheit des gewöhnlichen Zuckungsgesetzes des lebenden Nerven sprechen. Wo ich aber die unter Nr. 7 angeführte Norm sah, erschien sie erst an enthaupteten Fröschen und nach einer

Reihe vorangegangener Reizversuche, so dass der Verdacht einer wesentlichen vorausgegangenen Veränderung des Nerven durch die starken Ströme vorhanden war. Da man aber nieht vorsichtig genug mit negativen Ergebnissen sein kann, so vermag ich nur mit vieler Wahrscheinlichkeit und nicht mit Gewissheit anzunehmen, dass die doppelten Wirkungen und die mit der Stromesrichtung weehselnden einseitigen nicht dem vollkommen regelrechten und kräftigen lebenden Nerven angehören. Diese Auffassungsweise wird noch dadurch unterstützt, dass oft die doppelten Wirkungen erst dann auftreten, wenn man eine Anzahl von Antworten nach dem gewöhnlichen Zuekungsgesetze erhalten hat und eben so die unter Nr. 7 aufgeführten einseitigen Erfolge den doppelten Wirkungen nach einiger Zeit naehfolgen.

9. Man begegnet häufig dem Falle, dass der Schreibstift zu dem ursprünglichen Kreise nieht zurückkehrt, wenn die Schliessungs- oder die Oeffnungszuckung scheinbar aufgehört hat. Diese Thatsache lässt nicht ohne weiteres zurückschliessen, dass der Muskel noch längere Zeit verkürzt geblieben ist. Die Reibung des Stiftes gegen die berusste Glasplatte kann den einzigen Grund der Erscheinung bilden. Man sieht sie daher in der Regel, wenn die Wagschaale des Schreibapparates mit gar keinem oder einem zu geringen Gewichte belastet ist. Sie zeigte sich aber auch in Fällen, wo eine solche Ursache nicht eingriff, wenn z. B. die Wagschaale stark beschwert war, die Ströme dureh die Muskelmasse geleitet wurden und diese nach dem gewöhnlichen Zuekungsgesetze des lebenden Nerven oder mit doppelten Wirkungen geantwortet hatte. Der Muskel verharrt also dann wahrseheinlich eine Zeit lang in einem geringen übrig gelassenen Verkürzungszustande. Dieses erinnert an ähnliche Erfahrungen, die Wundt und Fiek an ausgeschnittenen Muskeln gemacht haben. Es kommt auch häufig nach Reizung der Nerven vor, dass die Zuckungseurve sich am Ende der Zusammenziehung dem ursprünglichen Kreise bedeutend nähert, jedoch erst nach einiger Zeit mit ihm wahrhaft zusammenfällt. (Vgl. Fig. 3. 5.)

Die Untersuchungen, welche §. 11. über den Einfluss der Gifte auf die Muskelzuckungen mitgetheilt werden, umfassen unter anderen die näheren Verhältnisse einer hierher gehörenden Erseheinung. Hat man einen Frosch durch die Einführung einer geringen Menge von Curare unter die Rückenhaut getödtet und leitet dann die elektrischen Ströme durch die Muskelmasse selbst, so bleibt diese eine verhältnissmässig lange Zeit auch während der Dauer des Geschlossenseins der

Kette in hohem Grade zusammengezogen. Man stösst hierbei auf zwei verschiedene Hauptfälle. Anwortete der Muskel kräftiger oder ist der eingreifende Kettenstrom stärker, so erhält man eine lebhafte Schliessungszuckung, die aber nicht, wie gewöhnlich, sogleich aufhört. Die Höhe der Zusammenziehung nimmt während der Dauer des Kettenschlusses allmälig ab, bleibt aber auf einer beträchtlichen Stufe. Das Maximum der Hubhöhe der Schliessungszuckung betrug z. B. $3^1/_2$ Mm. für $18^1/_2$ Grm. Belastung. Dieser Werth war erst auf 2 Mm. gesunken, nachdem man die Kette zwei Minuten lang geschlossen erhalten hatte. Oeffnete man sie, so kehrte der Muskel plötzlich zu seiner ursprünglichen Länge zurück. Der zweite Fall tritt dann ein, wenn der Muskel geschwächter oder der Kettenstrom minder kräftig ist. Der Muskel verkürzt sich um eine gewisse Grösse in dem Augenblicke des Schlusses und bleibt auf der gleichen oder nahezu derselben Höhe der Zusammenziehung, wenn man auch die Kette ein bis zwei Minuten geschlossen lässt. Die Oeffnung führt wiederum zur plötzlichen Rückkehr zu der ursprünglichen Länge. Dieser letztere Umstand beweist, dass man es hier nicht mit der so häufig vorkommenden, später noch ausführlicher zu betrachtenden zurückbleibenden Verkürzung, sondern mit einer durch den dauernden Kettenstrom erzeugten anhaltenden Zusammenziehung zu thun hat. Die Curareversuche liefern den anschaulichsten Beweis, dass die Zusammenziehungen nicht immer nur bei dem Schlusse oder der Oeffnung der Kette auftreten. Sie eigenen sich, den Satz einer grösseren Zuhörerzahl in Vorlesungen nachzuweisen.

Es kommt auch, wie wir sehen werden, nach andern Vergiftungen und selbst bisweilen bei gesunden Frösehen vor, dass die Zusammenziehung noch eine Reihe von Secunden nach dem Schlusse der Kette anhält oder nach dem Oeffnen derselben asymptotisch abläuft.

10. Man bemerkt bei dem Gebrauche starker Kettenströme, dass eine einmalige Schliessungs- und Oeffnungszuckung von grosser Ausgiebigkeit oder selbst jene allein hinreicht, den Muskel weicher zu machen. Der Schreibstift zeichnet daher nach dem Aufhören der Verkürzung einen Kreis von kleinerem Halbmesser, als der ursprüngliche war.

11. Trägt die Wagschale des Schreibapparates ein gehöriges Zuggewicht und gleitet der Schreibstift mit möglichst geringer Reibung an der berussten Glasplatte dahin, so liegt in den gewöhnlichen Fällen das Ende der Muskelcurve in dem ursprünglichen Kreise, so

wie die Schliessungszuckung aufgehört hat. Es versteht sich aber von selbst, dass dieses nicht der Fall ist, wenn ein auch während des Geschlossenseins der Kette anhaltender Starrkrampf vorhanden ist. Liegt nur ein Bruchtheil einer Secunde zwischen dem Schlusse und der Oeffnung der Kette, so wird eine neue, nicht an dem Ausgangskreise, sondern an einem Orte der ersten Curve beginnende zweite Curve aufgezeichnet, wenn die Oeffnungszuckung anfängt, ehe die Schliessungszuckung vollkommen beendigt worden (Nr. 5.) Die letzten Stufen der Erschlaffung treten bisweilen mit solcher Langsamkeit nach verhältnissmässig starken Kettenströmen auf, dass eine asymptotische Curve, wie wir später sehen werden, verzeichnet wird. Manche Vergiftungen zeigen dieses für die Schliessungs- und die Oeffnungszuckung in auffallender Weise. Es kann dabei vorkommen, dass man das asymptotische Ablaufen erhält, wenn die elektrischen Ströme den Muskel, nicht aber wenn sie den Nerven durchsetzen oder umgekehrt.

12. Haben sehr starke Ketten auf den Nerven gewirkt, so erhält man einen Oeffnungsklonus, der sich dem Ritter'schen Oeffnungstetanus unmittelbar anschliesst. Ich sah die Erscheinung bei krankhaft erhöhter Empfänglichkeit oder wenn der Nerv schon eine Reihe vorangehender Versuche ausgehalten hatte. Man hat dann nach dem Oeffnen der Kette eine grosse Zahl meist kräftiger Zuckungen, welche Zwischenräume der Ruhe wechselseitig zu trennen pflegen. Es fanden sich daher zwischen den aufgezeichneten Muskelcurven Stellen, in denen der Stift zu dem Ausgangskreise zurückgekehrt war. Die Curven selbst zeichneten sich wiederum bisweilen durch die mehrfache auf- und niedergehende Form, wie sie schon in Nr. 5 erwähnt worden, aus.

Der Mangel der Zwischenstellen der Erschlaffung würde dem Ritter'schen Tetanus entsprechen. Dieser scheint jedoch auch nie als ein gleichmässiger Starrkrampf, wie wir ihn bei den kräftigsten Wirkungen des Magnetelektromotors kennen lernen werden, aufzutreten, sondern nur aus näher zusammenliegenden auf- und niedergehenden Zuckungen zusammengesetzt zu sein.

Wir haben bis jetzt nur die Wirkungen von Kettenströmen betrachtet. Was die Inductionsströme betrifft, so suchte ich die durch sie zu gewinnenden Muskelcurven durch folgende Anordnung zu erhalten.

Die eine Elektrode von zwei kleinen Zink-Kohlenelementen ging zu dem einen Ende der inducirenden Spirale eines du Bois'schen

Magnetelektromotors. Das andere Ende derselben wurde durch einen Messingdrath mit der nicht isolirten Klemme des Uhrwerkes verbunden. Ein zweiter Messingdrath lief von der isolirten Klemme des Uhrwerkes zu dem zweiten Pole der erregenden Kette. Der Schliessungsbogen war daher so lange unterbroehen, als nicht der Stahlstift den Quecksilbertropfen bei dem Gange des Uhrwerkes und der Drehung der zweiten Achse desselben berührte. Die unpolarisirbaren Zinkelektroden hafteten an Dräthen, welche die Enden der Inductionsspirale bildeten. Liess man jetzt das Uhrwerk gehen, so spielte der Magnetelektromotor nur so lange, als der Stahlstift den Quecksilbertropfen durchschnitt. Dieses lieferte zugleich den Beweis, dass alle Verbindungen gut schlossen. Ich schraubte nun die die Platinspitze des Magnetelektromotors tragende Schraube so tief hinunter, dass der Anker gegen die Eisencylinder oder die Eisenstäbe (je nach der Einrichtung des Magnetelektromotors) fest angedrückt wurde. Liess man jetzt das Uhrwerk gehen, so erhielt man nur einen Schliessungsinductionsschlag, wenn der Stahlstift in das Quecksilber eintrat, und einen Oeffnungsinductionsschlag, wenn er aus demselben austrat. Da der Schliessungsinductionsstrom die entgegengesetzte und der Oeffnungsinductionsstrom die gleiche Richtung, wie der ursprüngliche erregende Strom hat, so lässt sich die Stromesrichtung, welche den Nerven durchsetzt, leicht bestimmen. Der Polwechsel der erregenden Kette erfolgte durch einen eingeschalteten Stromwender oder dureh den unmittelbaren Umtausch der Elektrodendräthe.

Berührte man die Enden von diesen mit der Zungenspitze, während man das Uhrwerk gehen liess, so erhielt man einen schwächeren Schliessungs- und einen stärkeren Oeffnungsinductionsschlag. Entfernte man die Inductionsrolle immer mehr von der inducirenden, so gelangte man zu einer Stromschwäche, bei der nur die Oeffnungs- nicht aber die Schliessungswirkung wahrgenommen wurde. Der von den Elektroden nur durch die feuchten Nebengewebe getrennte Froschnerv war empfindlicher, als meine Zungenspitze. Ich musste die Rollen des Magnetelektromotors noch mehr wechselseitig entfernen, wenn ich eine blosse Oeffnungszusammenziehung in dem Wadenmuskel des Frosches erhalten wollte.

Fig. 6 zeigt uns zwei Curven, die sich auf die beiden erwähnten möglichen Fälle beziehen. Die äussere stellt nur die Wirkung des Oeffnungsschlages dar. Der Schliessungsschlag erzeugte hier keine merkliche Verrückung des Schreibstiftes. Man erkennt da-

gegen an dem inneren Kreise zuerst den Erfolg des Schliessungsschlages in der weiter rechts und den des Oeffnungsschlages in der mehr links beginnenden Curve.

Betrachtet man die Linien genauer, so sieht man, dass der Schreibstift nicht vollständig zu dem Ursprungskreise zurückkehrte, wie dieses bei dem Gebrauche eines schwachen Kettenstromes der Fall gewesen wäre, da die Wagschale mit 10 Grm. beschwert war, die Gesammtbelastung also nur 18,5 Grm. betrug. Hieraus folgt, dass sich eine geringe Zusammenziehung des Muskels noch einige Zeit, nachdem die Inductionsströme aufgehört, erhalten hatte.

Fig. 6.

Man erklärt die stärkere Wirkung des Oeffnungsinductionsschlages aus dem Einflusse des Extrastromes, der sich in dem inducirenden Drathe erzeugt. Helmholtz suchte daher die Ungleichheit durch die Einschaltung einer Nebenschliessung, die den inducirenden Strom nicht auf Null bei der Oeffnung sinken lässt, herabzusetzen. Stimmten die Abgleichungen bei dem Schlusse und der Oeffnung nahezu überein, so erhielt auch du Bois in beiden Fällen die gleichen Hubhöhen für die Muskelwirkung der eingeschalteten Froschpräparate.

Ich habe hierüber mannigfache Versuche theils mit einem gewöhnlichen Magnetelektromotor und theils mit der von Zimmermann in Heidelberg verfertigten und von Wundt empfohlenen Vorrichtung angestellt. Wollte ich nur den Schliessungs- und den Oeffnungsinductionsschlag je ein Mal wirken lassen, so regulirte ich das Hammerwerk so, dass es nicht von selbst ging, sondern durch den Finger herabgedrückt und losgelassen werden musste. Hatte ich aber die Absicht, den Einfluss der wiederholten Schläge zu prüfen, so stellte ich die unteren Schrauben und eine der oberen an dem von Zimmermann verfertigten Magnetelektromotor so ein, dass das Hammerwerk spielte, die Nebenschliessung mochte angebracht sein oder nicht.

Die Wirkung auf die Zunge ist bei Benutzung der Nebenschliessung bedeutend schwächer, als ohne dieselbe. Was die Muskeln betrifft, so kann man alle drei möglichen Fälle erhalten, wenn man nur einen einmaligen Schliessungs- und Oeffnungsinductionsschlag gebraucht. Ich hatte Curven, in denen noch die Oeffnungszuckung

eine bedeutendere Maximalhöhe, als die Schliessungszuckung darbot, obgleich der Unterschied geringer, als ohne Nebenschliessung ausfiel. Andere Fälle zeigten die Muskelcurven der Schliessung und der Oeffnung ziemlich gleich. Ich stiess endlich sogar auf Fälle, in denen die Curve der Oeffnungszuckung die niedere war. Man kann diese Verschiedenheiten an demselben Muskel hinter einander erhalten, weil hier die Zeit der Abgleichung und die Empfänglichkeit der thierischen Theile einen wesentlichen Einfluss ausüben. Man stösst übrigens in seltenen Fällen auf eine Stufe der Reizbarkeit, bei der die Hubhöhen für die Zuckungen des Schliessungs- und des Oeffnungsinductionsstromes ziemlich gleich auch ohne Nebenschliessung ausfallen.

Lässt man das Hammerwerk zuerst mit und später ohne Nebenschliessung spielen, so kann es vorkommen, dass man eine kleinere Hubhöhe trotz der kräftigeren Schläge in dem letzteren Falle erhält, weil die Reizbarkeit ersehöpft ist oder die rasch wechselnden Ströme eine gewisse Stärke überschreiten.

Ich habe ähnliche Versuche, wie mit den Inductionsströmen, mit dem Extrastrome angestellt. Ich nahm zu diesem Zwecke einen Magnetelektromotor, an dem besondere Klemmer für die Ableitung des Extrastromes der inducirenden Spirale vorhanden waren und befestigte in ihnen die Dräthe, welche die unpolarisirbaren Elektroden trugen, während das Platinblech des Hammerwerkes der besonderen Einrichtung des gebrauchten Apparates gemäss von der Platinspitze entfernt gehalten wurde. Die Verbindungen waren sonst, wie früher, hergestellt, so dass die Kette geschlossen wurde, wenn der an der zweiten Achse des Uhrwerkes befestigte Stahlstift in den Quecksilbertropfen eintrat und geöffnet, wenn er denselben verliess.

Fig. 7.

Fig. 7 gibt ein Beispiel der auf diese Weise erhaltenen Curven. Der innere Ausgangskreis bezieht sich auf einen Extrastrom, der in aufsteigender Richtung in dem Nerven dahinging. Man hat die lange anhaltende Schliessungszuckung. Sie war noch nicht beendigt, als die Oeffnungszuckung eintrat. Die Curve erhob sich daher dann von Neuem. Der äussere Kreis entspricht einem bald darauf eingeleiteten absteigenden Extrastrome, wo ebenfalls

die Oeffnungszuckung eine Erhebung der Curve erzeugte. Man sieht zugleich, dass die Stellung des Quecksilbertropfens in beiden Fällen wechselte. Da ein Umgang der berussten Scheibe 1,8 Secunden dauerte, so ergibt sich aus Fig. 7, dass die Kette ungefähr 1,4 Secunden im ersten, dagegen nur 0,3 Secunde in dem zweiten Falle geschlossen blieb.

Die Empfindungen können natürlich weniger scharf, als die Bewegungserscheinungen an Thieren verfolgt werden. Es lässt sich dessenungeachtet nachweisen, dass das Zuckungsgesetz des lebenden Nerven auch für sie gilt.

Man nimmt zu diesem Zwecke ein passendes Froschmännchen, das seine Kehlblasen gehörig zu gebrauchen weiss. Nicht alle Thiere der Art eignen sich aber zu solchen Versuchen. Manche sind so unempfindlich, dass sie kräftige elektrische Schläge ohne alles Schreien ertragen. Andere geben nur Töne, wenn sich die Reizungen in kurzer Zeit wiederholen. Sie schreien daher bei oder nach der Oeffnung der Kette, wenn der Kettenschluss nur drei bis vier Secunden gedauert hat oder nachdem der Magnetelektromotor eben so lange spielte. Man muss daher ein Männchen nehmen, das starke einmalige Schmerzenseindrücke mit Tönen erwiedert.

Antwortet der Hüftnerv nur mit Schliessungszuckungen, so schreit dann das Thier immer bei dem Einbrechen und nicht bei dem Austritte des Stroms, dieser mag auf- oder absteigend sein. Gibt eine stärkere Kette doppelte Wirkungen, so macht sich in der Regel der Einfluss der Schliessung für die Empfindungen nachdrücklicher geltend. Das Thier schreit häufig nur bei dem Schlusse der Kette, wenn auch eine Oeffnungszuckung ausser der Schliessungszuckung aufgeschrieben wird. Froschmännchen, deren Nerven durch frühere Versuche umstimmt oder die mit einer verdünnten Strychninlösung vergiftet worden, gaben eine stärkere Oeffnungs- als Schliessungszuckung. Sie schrieen dessenungeachtet nur bei dem Einbrechen des Stromes oder bei diesem weit lauter, als bei dem Austritte. Der Umsatz der Nervenerregung in Muskelzuckung kommt mit einem Worte in diesen Fällen leichter zu Stande, als der in bewusste lebhafte Schmerzensempfindung. Ruhigere Frösche geben bisweilen die Töne stärker oder leichter bei auf- als bei absteigendem Strome. Ein Unterschied der Art lässt sich jedoch in vielen anderen Fällen nicht erkennen.

Man macht ähnliche Erfahrungen an Inductionsströmen. Die Intensität derselben bestimmt unter sonst gleichen Verhältnissen, ob

das Thier nur bei der Oeffnung oder auch bei dem Schlusse der primären Kette schreit. Die Verschiebung der Rollen des Magnetelektromotors kann beide Fälle nach einander vorführen.

Es kommt nicht selten vor, dass der Frosch mehrere Male schreit oder Nachzuckungen darbietet, nachdem Kettenströme eingewirkt haben. Das Erstere tritt auch bisweilen nach den Schlägen des Magnetelektromotors auf.

Die Reflexbewegungen machen es ebenfalls möglich, die Wirkungen der Empfindungsnerven zu verfolgen. Man kann hierfür die obere Hälfte der Bauchmuskeln der der Reizung entgegengesetzten Seite oder den zweiten Schenkel zur Beobachtung benutzen. Man sieht häufig, wie z. B. jener Abschnitt der Bauchmuskeln Reflexverkürzungen darbietet, wenn die Kette geschlossen, nicht aber wenn sie geöffnet wird oder eine stärkere Zusammenziehung in dem ersteren, als in dem letzteren Falle. Dasselbe kann sich für die zweite Extremität wiederholen, diese mag unversehrt sein oder nur durch das Hüftgeflecht mit dem Rückenmarke zusammenhängen.

Der Magnetelektromotor kann hierbei ansehnlich machen, wie das Auftreten der Reflexbewegungen einen stärkeren Reiz, als die unmittelbare Muskelverkürzung nöthig hat. Lässt man den Hammer arbeiten oder stellt man ihn, so dass man nur die Inductionsströme benutzt, so führt die Rollenverschiebung ungleiche Ergebnisse herbei. Sind die zwei Rollen wechselseitig hinreichend weit entfernt, so zuckt nur das Hinterbein, dessen Nerv von dem Strome durchflossen wird. Nähert man sie allmälig, so gelangt man zu einer Stromstärke, bei der sich auch der zweite Schenkel, eine sehr kurze Zeit später, als der erste zusammenzieht. Lässt man das Hammerwerk des Magnetelektromotors gehen, so bemerkt man zwei Stufen des Erfolges, zuerst eine minder starke Verkürzung bei schwächeren und hierauf Starrkrampf bei stärkeren Extra- oder bei secundären Inductionsströmen.

Schon die oben erwähnten, die Schmerzensäusserungen betreffenden Thatsachen lassen mit vieler Wahrscheinlichkeit vermuthen, dass das Durchschlagen der Erregung durch centrale Ganglienkugeln eine kräftigere Reizung voraussetzt, als der Umsatz der Thätigkeit der Bewegungsnerven in Muskelverkürzung. Die oben erläuterten Reflexerscheinungen können die Richtigkeit dieser Annahme mit mehr Sicherheit darthun.

Hat die elektrische Einwirkung lebhafte Schmerzensäusserungen hervorgerufen, so kommt es nicht selten vor, dass der Muskel noch

um eine gewisse Grösse verkürzt bleibt, nachdem die Kette geöffnet worden. Die Muskelcurve läuft dann asymptotenähnlich ab.

Man pflegt es als ein Unterscheidungsmerkmal der Empfindungs- und der Bewegungsnerven hervorzuheben, dass der Mensch die Wirkung starker Kettenströme nicht bloss im Augenblicke der Schliessung, sondern auch während der Dauer des Kettenschlusses empfindet. Der Frosch führt zu keinen solchen Erscheinungen. Nimmt man nicht allzustarke Ströme, welche durch kräftige Elektrolyse und Temperaturerhöhung Schmerzen bereiten, so bleibt das Thier, nachdem es die Schliessung der Kette mit Schreien beantwortet hat, ruhig, während man die Kette geschlossen hält, der Strom also den Hüftnerven fortwährend auf- oder absteigend durchfliesst. Man hat dabei indessen häufig das asymptotische Ablaufen der Schliessungszuckung. Es versteht sich übrigens von selbst, dass das zufällig intercurrirende Schreien unruhiger Thiere Nichts beweisen kann[1]).

§. 3. Die Tetanisation des Nerven oder des Muskels.

Will man den Magnetelektromotor auf den Nerven wirken lassen, so führt man die eine Elektrode unmittelbar von der Kette zu dem einen Ende der inducirenden Spirale, die zweite dagegen zu der nicht isolirten Klemme des Uhrwerkes. Der Draht, welcher in der isolirten Klemme desselben eingeschraubt ist, geht zu dem thierischen Theile und dem zweiten Ende der inducirenden Spirale. Ist nun das Hammerwerk des Magnetelektromotors so eingestellt, dass es von selbst zu spielen anfängt, so wie die Kette geschlossen ist, so wird es bei dieser Einrichtung so lange arbeiten, als der Stahlstift den Quecksilbertropfen durchsetzt. Will man es länger in Thätigkeit lassen, so befestigt man einen Querdrath an dem Drathe, der sich in der nicht isolirten Klemme des Uhrwerkes befindet und einen zweiten an dem, der mit der isolirten verbunden ist. Diese zwei Dräthe haften in den beiden Stellschrauben der S. 4 u. 5 beschriebenen Schlüsselvorrichtung. Der Schlüssel von dieser ist so gestellt, dass die Platinspitze das Platinblech fast berührt und daher eine Umdrehung hinreicht, den Magnetelektromotor in Gang zu setzen oder zur Ruhe zu bringen.

Fig. 8 kann uns versinnlichen, wie sich die Muskelcurven gestalten, wenn sich die Scheibe in 18 Secunden ein Mal herumdreht.

[1]) Aeltere hierher gehörende Beobachtungen siehe in meinem Lehrbuch der Physiologie. Zweite Auflage. Bd. II. Abth. II. Braunschweig, 1848. 8. S. 654.

Der Ausgangspunkt der aufsteigenden Linie der Muskelcurve weist auf den Anfangskreis. Sie selbst versinnlicht die erste starke Zusammenziehung, die bei dem Einbrechen der Schläge des Magnetelektromotors stattfand. Der Stift zeichnete zuerst Spirallinien, die an Länge ihrer Fahrstriche rasch abnahmen. Die Windungen der Spirale lagen aber zuletzt so dicht aneinander, dass man erst die einzelnen Linien mit der Loupe erkannte und das Ganze daher dem freien Auge den Eindruck eines breiten Kreisbandes machte. Ich nenne dieses Verhältniss den asymptotischen Zustand der Zusammenziehung. Er findet sich, wenn der Magnetelektromotor Verkürzungen schon seit einiger Zeit hervorgerufen hat oder nach einer gewissen Wirkungsdauer, der Erschöpfung der lebenden Gewebe wegen, nicht mehr anregt.

Fig. 8.

Die Geschwindigkeit der Längenzunahme des Muskels erscheint dann ausserordentlich gering, so dass die Spiralen nahe bei einander liegen und zwar im Allgemeinen um so näher, je weniger sie von dem Ausgangskreise entfernt sind. Der Ausdruck asymptotisch bezieht sich daher nur auf diese allmälige Annäherung. Denn eine Berührung der Curve erst in unendlicher Ferne findet hier natürlich nicht statt. Ich habe den Versuch in Fig. 8 nicht eher unterbrochen, als bis die Spirale den Anfangskreis berührte.

Man kann das Spiel des Magnetelektromotors so lange auf den Nerven und dadurch mittelbar auf den Muskel wirken lassen, bis endlich der letzte Theil der Spirale den Anfangskreis zu berühren scheint. Gegenversuche lehren aber, dass auch der asymptotische Zustand eintritt, nachdem das Spiel des Magnetelektromotors früher unterbrochen worden. Fig. 9 wird dieses erläutern. Man sieht hierin den Ausgangskreis an dem Anfange der steilen Steigungslinie, welche die mit dem Einbrechen der Schläge auftretende rasche und starke Verkürzung erzeugte. Hatte die Zusammenziehung merklich abgenommen, so hob ich das Spiel des Magnetelek-

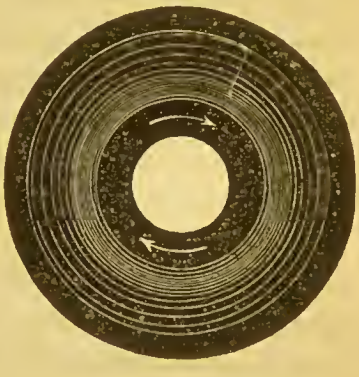
Fig. 9.

tromotors auf. Man erhielt daher sogleich eine beträchtliche Verlängerung des Muskels, wie das plötzliche Abfallen der Curve anzeigt. Der Ausgangskreis wurde aber hierdurch noch nicht erreicht. Es folgte vielmehr ein asymptotischer Zustand, der 26 Umgänge von je 18 Secunden oder 7 Minuten und 48 Secunden in Anspruch nahm, ehe die Spirale dem Kreise nahe kam. Ich habe dann den Zeichenstift von der Glastafel abgehoben.

Wir sehen hieraus, dass die Muskelverkürzung, welche durch die starke und einige Zeit anhaltende Tetanisation des Nerven erzeugt wird, keineswegs gänzlich aufhört, so wie die Inductionsströme (oder auch die Extraströme) nicht mehr wirken. Der Muskel bleibt noch nachher kürzer als er ursprünglich war und verlängert sich nachträglich mit geringer und von Augenblick zu Augenblick abnehmender Geschwindigkeit. Ich nenne dieses die zurückbleibende Verkürzung des Muskels.

Sie kann die Folgen der Erweichung der Muskelmasse, welche man nach der Zusammenziehung bemerkt, verdecken. Lässt man nämlich den Magnetelektromotor, wie dieses in Fig. 10 geschah, so lange wirken, bis die Spirale des asymptotischen Zustandes bis dicht an den Ursprungskreis gelangt ist oder diesen zu berühren scheint und stellt dann das Spiel des Hammerwerkes ein, so rückt der Schreibstift wieder nach innen und schreibt die innerhalb des Ausgangskreises gelegene Spiral- oder Kreislinie auf d. h. das Belastungsgewicht verlängert jetzt den Muskel mehr, weil er durch die Zusammenziehung weicher, dehnbarer geworden.

Fig. 10.



Unterbricht man dagegen das Spiel des Magnetelektromotors früher, im Anfange oder in der Mitte des asymptotischen Zustandes, so rückt der Stahlstift nicht sogleich bis zu dem Ausgangskreise, geschweige denn innerhalb desselben, weil die zurückbleibende Verkürzung die grössere durch die Erweichung bedingte Dehnung verdeckt.

Man bemerkt auch jene Erscheinung, wenn die Schläge des Magnetelektromotors durch die Muskelmasse unmittelbar geleitet werden. Es lässt sich ausserdem durch einen einfachen Versuch erhärten, dass sie nicht von Nachschwingungen der Molecüle des freien Theiles des Hüftnerven herrührt. Durchschneidet man diesen

oder den untersten Bezirk des Oberschenkels, der die Elektroden enthält, so fehlt hierauf die zurückbleibende Verkürzung nicht. Sie scheint übrigens länger anzuhalten oder die ihr entsprechenden Spiralen ändern sich nach und nach um so weniger, je mehr frühere Erregungen schwächend eingewirkt haben oder je kraftloser das gebrauchte Thier an und für sich ist.

Es hatte häufig auf den ersten Blick den Anschein, als wenn das obere Ende der steilen Ansteigung auch das Verkürzungsmaximum des Muskels bei der Tetanisation des Nerven anzeigte, so wie sich die Scheibe in 1,8 Secunden ein Mal herumdrehte. Die genauere Untersuchung lehrte aber, dass dieses meistentheils nicht der Fall war. Verfolgte man nämlich die erste Spirale, die nach jener Ansteigung aufgezeichnet wurde, so sah man, dass sie oft nicht diejenige war, welche am Weitesten vom Mittelpunkte abstand, sondern dass diese Eigenschaft erst der zweiten Spirale zukam. Man bemerkte in anderen Fällen, dass ein späterer Theil der ersten Spirale einen grösseren Fahrstrich, als das Anfangsstück derselben darbot. Der Unterschied betrug immer nur einen Bruchtheil eines Millimeters. Er konnte oft erst unter der Loupe mit Deutlichkeit bemerkt werden. Wir sehen hieraus, dass das Einbrechen der Schläge des Magnetelektromotors ein scheinbares Maximum der Längenabnahme in kurzer Zeit erzeugt. Ist dieses aber hergestellt, so hat man eine nachträgliche äusserst kleine weitere Verkürzung. Sie rührt davon her, dass die Längenverminderung des Muskels mit beträchtlich sinkender Geschwindigkeit am Ende wächst.

Erzeugt man eine Folge von Schliessungen und Oeffnungen eines Ketten- oder eines Inductionsstromes durch ein Rheotom, einen Telegraphentaster oder eine andere passende Vorrichtung, so hängt das Curvenbild von der Schnelligkeit ab, mit der die Schläge auf einander folgen. Man hat die einzelnen Schliessungs- und Oeffnungscurven oder nur die Ersteren bei grösster Langsamkeit. Folgen die Schläge rascher, so erhält man zickzackförmige Linien, weil eine neue Längenabnahme eingreift, ehe die ältere wiederum verschwunden ist. Eine noch raschere Folge der Schliessungen und Oeffnungen endlich gibt die einförmigeren nur mit einer Maximalerhebung versehenen Curvenformen Fig. 8 bis 10. Ich habe die drei Hauptgestalten der Curven, wie sie sich bei dem Aufzeichnen mit kreisförmiger Basis gestalten, schon an einem anderen Orte[1]) abgebildet.

[1]) Grundriss der Physiologie. Vierte Auflage. 1855. S. 531. Fig. 376.

Stellt man das Hammerwerk eines Magnetelektromotors das eine Mal so ein, dass der Anker von den Eisencylindern möglichst entfernt und das andere Mal ihnen möglichst nahe ist, dass man also möglichst wenige Schläge in der Zeiteinheit in dem ersteren Falle und möglichst viele in dem letzteren hat, so bekommt man auf der Zunge eine stärkere Empfindung, so wie die Schliessungen zahlreicher werden. Die Muskelverkürzung bietet nicht immer den gleichen Unterschied dar. Er steht jedenfalls dem, den die Stromstärke bedingt, bedeutend nach.

Ich erhielt z. B.

Versuchs-nummer.	Stellungsverhältniss der Rollen.	Grösste Hubhöhe in Millimetern. Das Hammerwerk	
		möglichst entfernt.	möglichst nahe.
1	Einander eben berührend	8	$7^1/_2$
2	Dsgl.	$7^1/_{10}$	7
3	Dsgl.	7	7
4	9 bis 10 Centimeter entfernt	$3^3/_4$	$5^1/_5$
5	Ganz über einander geschoben	$4^9/_{10}$	$6^2/_5$

Nur die Versuche 4 und 5 gaben hiernach eine Verschiedenheit, wie man sie den Empfindungen nach erwarten sollte. Wir werden bei den später darzustellenden Untersuchungen über die Veränderungen der Nerven durch den elektrischen Strom sehen, dass die Ergebnisse von No. 3, 4 und 5 die Regel und die von No. 1 und 2 die Ausnahme bilden.

Die Curven, welche der Muskel bei der Tetanisation seiner Masse oder seines Nerven auf der berussten Glasplatte aufzeichnet, enthalten nur selten auf- und niedergehende Schwankungen als Zeichen der Wechselkrämpfe, welche man an den Muskelbündeln nach länger anhaltender Tetanisation bemerkt. Man sieht sie häufig an der Oberfläche in demselben Augenblicke, in welchem der Schreibstift ein reines Bogenstück ohne Auf- und Niedergang wiedergibt. Diese Wechselkrämpfe betreffen dann oft nur einzelne Muskelbündel oder sie sind, wenn ausgedehnter, nicht stark genug, selbst nicht sehr bedeutende Reibungen des Aufzeichnungsstiftes zu überwinden.

Man hat die Behauptung aufgestellt, dass die Schläge des Magnetelektromotors keine Zusammenziehung hervorrufen, wenn sich 1000 Schliessungen und Oeffnungen in der Secunde wiederholen. Ich habe Grund, die Richtigkeit dieses Satzes für den lebenden Frosch zu bezweifeln.

Ich arbeitete mit gleichgerichteten Strömen. Während die übrige Einrichtung die frühere für den Gebrauch von Kettenströmen benutzte war, ging ein dünner Kupferdraht von der nichtisolirten Klemme des Uhrwerkes zu einem befestigten Metallbleche, dessen Ende an den Zähnen des auf der vierten Achse befindlichen Zahnrades schleifte. Dieses Zahnrad hatte 80 Zähne und drehte sich 100 Mal, während die mit der zweiten Achse verbundene berusste Scheibe einen Umgang machte. Forderte dieser n Secunden, so hatte man 8000n Schliessungen und Oeffnungen in der Secunde. Ein kräftiger mittelgrosser Frosch gab z. B. für absteigende Ströme:

Zahl der Schliessungen und Oeffnungen in der Secunde.	Grösste Hubhöhe in Millimetern.
888	5¼
944	6⅓

Die Curven verhielten sich wie die gewöhnlichen Magnetelektromotorcurven. Man erhielt Linien ohne Auf- und Niedergang. Die Hubhöhen hatten nach 5 bis 6 Secunden wenig abgenommen und ein asymptotisches Auslaufen begleitete das Ende.

Ich möchte hier vor einer Täuschung warnen, die mich zuerst befangen hielt. Der Muskel schrieb in dem Anfange meiner Versuche nur kurze Curven auf. Der Stift kehrte bald zu dem Ausgangskreise zurück, als wäre blos ein verlängerter Kettenschluss vorhanden gewesen. Der Grund lag darin, dass die starke Centrifugalkraft des rasch bewegten Zahnrades das oberste Ende des schleifenden Metallbleches gegen die Messingdecke des Uhrwerkes verschoben und so einen dauernden Kettenschluss bewirkt hatte. Vermied man diese Fehlerquelle durch gehörige Sonderung, so erhielt man noch bei 944 Schliessungen und Oeffnungen in der Secunde gleichförmige, mit starken Hubhöhen versehene Muskelcurven, die viele Minuten für ihr asymptotisches Ablaufen nöthig hatten.

Die Ergebnisse dieses Abschnittes sind hiernach:

1. Der in der Inductionsrolle eines gewöhnlichen Magnetelektromotors erzeugte Inductionsstrom und der in der inducirenden Rolle entstehende Extrastrom führen, wenn sie kräftig genug sind, zu einer Zuckung bei dem Schliessen der primären Kette und zu einer zweiten stärkeren und länger anhaltenden bei dem Oeffnen derselben. Der Oeffnungsinductionsschlag, nicht aber der Schliessungsschlag erzeugt eine Zusammenziehung, wenn der primäre Strom schwächer ist. Der Grund des Unterschiedes liegt in der durch den Extrastrom bedingten Schwächung des Schliessungs- und Verstärkung des Oeffnungsschlages. Vermindert man diesen Einfluss durch die Helm-

holtz'sche Nebenschliessung, so verkleinert sich auch der Unterschied der physiologischen Wirkungsweise.

2. Die Schläge des Magnetelektromotors bedingen die verhältnissmässig kräftigsten Erfolge sowohl für die Längenabnahme des Muskels, als für die Dauer der Verkürzung. Die Hubhöhe sinkt im Anfange der Erschlaffung ziemlich rasch, am Ende derselben dagegen langsam, so dass hierdurch der asymptotische Zustand bedingt wird. Eine ihm zum Grunde liegende zurückbleibende Verkürzung hält noch verhältnissmässig lange an, nachdem die Thätigkeit des Magnetelektromotors unterbrochen worden, vorausgesetzt, dass diese hinreichend eingriff und wiederum vor der gänzlichen Rückkehr zur ursprünglichen Länge aufgehoben wurde. Man hat daher in diesem Falle eine die Anregung überdauernde oder zurückbleibende Verkürzung. Sie zeigt sich auch bisweilen nach der Wirkung von Kettenströmen, wenn sie z. B. verhältnissmässig kräftig eingreifen.

3. Der asymptotische Zustand geht vermuthlich aus einer Beziehung hervor, die sich in vielen Erscheinungen der unorganischen, wie der organischen Welt geltend macht. Die verschiedensten Gleichungsformen können der Möglichkeit des Hauptcharakters einer Asymptote, d. h. des Zusammentreffens nur in unendlicher Ferne genügen. Wir wollen aber eine Form, die von besonderer Bedeutung ist, näher betrachten.

Die Gleichung $\frac{dy}{y} = -dx$ gibt bekanntlich $y = ce^{-x}$, wo e die Basis des natürlichen Logarithmen und c die Integrationsconstante bezeichnet. y nimmt dann um so mehr ab, je mehr x wächst. Da aber die Constante c nicht Null sein kann, ohne dass y für alle Werthe von x Null wäre, so folgt, dass y erst den Werth Null erhalten kann, wenn x unendlich geworden. Nimmt man zwei Werthe von y, die zweien von x entsprechen, so wird der Unterschied derselben um so kleiner, je grösser x ist. Man hat also hier eine Asymptote, wenn man sich unter x die gerade Abscisse und unter y die Ordinate der Curve denkt, oder eine asymptotische Annäherung an den Pol, wenn y den Fahrstrichüberschuss und x die Anomalie einer Polargleichung bezeichnet. Die logarithmische Linie von der Gleichung $y = ce^x$ besitzt desshalb eine Asymptote in der negativen x Achse. Die logarithmische Spirale von der Gleichung $r = ce^{\pm u}$ nähert sich dem Pole immer mehr, ohne ihn je zu erreichen. Er bildet da nur den asymptotischen Punkt für diese Curve.

Die Mechanik stösst häufig auf Differentialgleichungen der oben angeführten Form. Die Gleichung der Kettenlinie, welche durch einen biegsamen an den Endpunkten aufgehängten und nur der Wirkung der Schwere ausgesetzten Faden erzeugt wird, lässt sich aus den Gleichungen zweier logarithmischen Linien herleiten. Die Bewegung von Punkten oder Körpern in widerstehenden Mitteln z. B. der Luft, die Untersuchung der Curve, die ein Punkt beschreiben würde, der in umgekehrtem Verhältnisse des Würfels der Entfernung von einem festen Mittelpunkte angezogen würde, die Niveauflächen und die Ausflussgeschwindigkeiten der zusammendrückbaren Flüssigkeiten oder der Gase führen z. B. zu solchen Gleichungen, deren Integration logarithmische Functionen liefern.

Obgleich es fast in keinem Falle bisher gelungen ist, die Gesetze einer Thätigkeit des thierischen Körpers durch eine Gleichung auszudrücken, so lässt sich doch nach den häufig vorkommenden asymptotischen Beziehungen voraussagen, dass sich auch hier nicht selten logarithmische Functionen bei der Integration zeigen werden. Die Theorie der Gasabsorption durch tropfbare Flüssigkeiten führt z. B. zu einer Differentialgleichung der oben erwähnten Form, die aussagt, dass die Geschwindigkeit der Absorption dem Drucke des freien Gases proportional ist [1]). Sie wird daher um so kleiner, je länger die Absorption angehalten hat und kann erst nach einer unendlich grossen Zeit gänzlich aufhören. Die Untersuchungen von Vierordt über das regelrechte und das gehemmte Athmen und die von mir über das Athmen in geschlossenem Raume führten auch demgemäss zu dem Ergebnisse, dass die Kohlensäureaushauchung in den Lungen mit der Zeit asymptotisch abläuft, dass die für die Zeiteinheit ausgeschiedene Kohlensäuremenge um so kleiner wird, je mehr die Lungenluft mit Kohlensäure geschwängert worden. Die Grundgleichung, welche Fechner für die Ausmessung der Empfindungen aufgestellt hat, ist von der Form $y = k \log. \frac{\beta}{b}$ oder $\frac{\beta}{b} = e^{\frac{y}{k}}$ wobei y die Empfindung, β die ihr zum Grunde liegende Nervenerregung, b die Erregungsstärke, bei der eine Empfindung gerade anfängt oder die Schwelle und k eine Constante bezeichnet. Meine früheren Beobachtungen über die Dauer der Netzhauteindrücke lehrten ebenfalls, dass die Nachbilder asymptotisch abklingen. Der asymptotische Charakter des Aufhörens der Muskelverkürzung unter

[1]) Stefan, Sitzungsberichte der Wiener Akademie. Bd. XXVII. 1857. S. 386.

den oben erwähnten Verhältnissen steht mit einem Worte als solcher nicht einzig da, sondern gehört zu einer Gruppe von Beziehungen, die sich in den mannichfachsten Lebensthätigkeiten geltend macht.

Wollte man ihn in streng mathematischem Sinne auffassen, so dürfte die Muskelcurve den Ausgangskreis nie d. h. in keiner endlichen Zeit erreichen. Ich habe diese Bedingung aus der Definition des asymptotischen Charakters der Erschlaffung S. 38 der Sicherheit wegen ausgeschlossen. Eine nähere Betrachtung lehrt aber, dass dieses keineswegs nothwendig ist, dass die Begegnung des Endes der Muskelcurve und des Ausgangskreises erst nach dem Abflusse einer unendlich grossen Zeit nicht nothwendiger Weise einen Widersinn einschliesst. Dass beide nach einer, wenn auch langen Zeit bei dem Aufschreiben zusammenzutreffen scheinen, kann Nichts beweisen. Man muss überdies bedenken, dass die durch die Verkürzung erzeugte Erweichung und die rascher oder schneller eintretende Erholung des Muskels verändernd eingreifen. Die erstere kann daher den Schreibstift nicht bloss zu dem Ausgangskreise führen, sondern sogar innerhalb desselben hinüberleiten, wie wir sogleich sehen werden.

4. Wir werden später einen Zustand der krankhaft erhöhten Empfänglichkeit kennen lernen, der zu stürmischen Schliessungs- oder Oeffnungszuckungen führt. Die Muskelcurve zeigt dann häufig verschiedene eigenthümliche Merkmale. Man hat kein stetiges Steigen, sondern abwechselnde Erhebungen und Senkungen. Etwas ähnliches kann sich auch während der Erschlaffung wiederholen. Ein anderes häufig vorhandenes Merkmal besteht darin, dass die Curve mehr oder minder steil mit oder ohne Zickzack emporgeht, dann verhältnissmässig längere Zeit auf der nahezu gleichen Maximalhöhe bleibt und steil, bisweilen fast senkrecht abfällt. Man hat daher dann rasche, stürmische Uebergänge und ein verhältnissmässig langes Verharren in dem verkürzten Zustande. Das Letztere schliesst aber nicht aus, dass die Zustandsänderung des Muskels überhaupt nur kurze Zeit anhält. Diese stürmischen Verkürzungen werden nicht selten von einer oder mehreren durch Zwischenräume der Erschlaffung getrennten Zuckungen, die nach dem Oeffnen der Kette auftreten, begleitet. Sie bilden den Uebergang zu dem bald zu erwähnenden Oeffnungsclonus, wenn sie nicht die früher erwähnten Folgen heftiger Empfindungswirkungen darstellen.

5. Waren der Nerv und der Muskel durch vorangegangene Versuche schon geschwächt, oder arbeitete man an matten Thieren,

so schienen der asymptotische Zustand und die Dauer der zurückbleibenden Verkürzung einen günstigeren Boden zu besitzen, als wenn vortheilhaftere Lebensbedingungen zu Gebote standen. Auch diese Erscheinung hat ihr Analogon in den Empfindungen, welche die Sinneseindrücke hervorrufen.

6. Lässt man denselben Strom 944 Mal in der Secunde schliessen und öffnen, so erhält man Muskelcurven mit starken Hubhöhen und Asymptose, wie bei dem Gebrauche des Magnetelektromotors.

7. Dauert die Thätigkeit des Magnetelektromotors fort, bis die ursprüngliche Länge des Muskels fast vollständig erreicht worden, so dass der Schreibstift in der unmittelbaren Nähe des Ausgangskreises angelangt ist, so rückt er, so wie die elektrischen Schläge aufhören und das frühere Zuggewicht fortwirkt, innerhalb des Ausgangskreises hinein und beschreibt hier eine kürzere oder längere Spirale, bis er sich endlich dem Mittelpunkte nicht weiter nähert. Dieses bildet den Ausdruck der grösseren Dehnbarkeit, der Abnahme des Elasticitätsmoduls, der Erweichung, welche die anhaltende Zusammenziehung in der Muskelmasse hervorgerufen hat. Unterbricht man dagegen die Wirkung des Magnetelektromotors, ehe der Muskel fast vollständig zu seiner ursprünglichen Länge zurückgekehrt ist, so kann die zurückbleibende Verkürzung die Folgen der Erweichung verdecken. Der durch eine grössere oder geringere Reibung überdies noch festgehaltene Stift bleibt daher ausserhalb des Ausgangskreises stehen.

8. Da die zurückbleibende Verkürzung nicht mangelt, wenn man den freien Theil des Hüftnerven nachträglich durchschnitten, oder die Muskelmasse selbst galvanisirt hat, so folgt, dass sie nicht von Nachschwingungen des ausserhalb des Muskels gelegenen Nervenabschnittes herrührt.

8. Das Ende des plötzlichen Ansteigens, welches die Muskelcurve unmittelbar nach dem Einbrechen der Schläge des Elektromotors darbietet, entspricht in der Regel noch nicht der grössten Verkürzung. Man hat meistentheils eine kleinere weitere Längenabnahme, welche davon herrührt, dass das wahre Maximum der Längenabnahme d. h. das Gleichgewicht der Zusammenziehung und der elastischen Widerstandskräfte des Muskels mit abnehmender Geschwindigkeit erreicht wird.

10. Folgen die Schläge des Magnetelektromotors so rasch auf einander, dass der Muskel keine zickzackförmige Curve mehr aufzeichnet, so erhält man nur bisweilen, nicht aber immer eine grössere

maximale Hubhöhe, wenn man die Zahl der auf die Zeiteinheit kommenden Schläge steigert. Dieser letztere Umstand kann die Empfindung, wie die Muskelwirkung vergrössern. Sein Einfluss steht aber im Allgemeinen dem der Erhöhung der Stromstärke durch Annäherung der Rollen nach.

§. 4. Die Formen der Muskelcurven.

Da die Muskelcurven auf einer kreisförmigen Abscisse nach dem diesen Untersuchungen zum Grunde liegenden Verfahren aufgeschrieben werden, so müssen sie um so langgezogener ausfallen, je weiter der Ausgangskreis von dem Mittelpunkte entfernt liegt, je grösser also dessen Halbmesser ist. Der für Polarcoordinaten nöthige Winkel und der Ausdruck des Fahrstriches in Polarcoordinatenwerthen ändert sich natürlich desswegen nicht, so lange die Beschaffenheit der Curve überhaupt dieselbe bleibt.

Ein zweites Bedingungsglied, das ein ganz verschiedenes Aussehen der Muskelcurve geben kann, ist der Wechsel der Umdrehungsgeschwindigkeit der Aufzeichnungsscheibe. Das Maximum der Ausweichung, welches der grössten Längenabnahme oder der stärksten Hubhöhe entspricht, bleibt für alle Schnelligkeiten der Umdrehung gleich. Da aber dieselbe Zeitdauer zwischen dem Beginne und dem Ende der Muskelverkürzung bei jeder beliebigen Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe verläuft, so wird ihr ein um so grösserer Bogen des Ausgangskreises entsprechen, je schneller die Bewegung ist. Dieses hat zur Folge, dass dann die Muskelcurve allmähliger zu ihrem absoluten Maximum emporsteigt und dann von ihm wiederum abfällt. Die Schenkel der Muskelcurven werden daher unter sonst gleichen Verhältnissen bei langsamer Umdrehung steiler, als bei rascher erscheinen. Wächst die Umdrehungsgeschwindigkeit über eine gewisse Grenze hinaus, so nehmen sie die Form von Spirallinien an.

Fig. 11.

Fig. 11 kann einen Theil des oben Gesagten näher versinnlichen. Das Uhrwerk drehte sich bei der Aufzeichnung des inneren Kreises so langsam, dass ein Umgang 78 Secunden nöthig hatte. Man sieht eine Reihe

von Zuckungen, welche durch den Schlag der Inductionsrolle eines Magnetelektromotors auf den Hüftnerven erhalten wurden. Man hatte dabei den Wadenmuskel früher noch nicht benutzt. Nun vergrösserte ich unmittelbar darauf das Zuggewicht, welches das Uhrwerk trieb, in dem Grade dass ein Umgang der Scheibe nur 18 Secunden nöthig hatte. Man erhielt dann unter den gleichen Verhältnissen die kleinere Schliessungs- und die grössere Oeffnungscurve des äusseren Kreises.

Man wird hieraus als Regel entnehmen, dass die Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe in einer Reihe gegenseitig zu vergleichender Versuche möglichst wenig wechsele, um den Ueberblick zu erleichtern. Weder zu grosse, noch zu kleine Geschwindigkeiten pflegen am Besten zu dienen. So kleine Curven, als der innere Kreis Fig. 11 der langsamen Umdrehung wegen zeigt, enthalten zu wenig Einzelheiten und gestatten keine hinreichend genauen Messungen zur Bestimmung der Zeiten. Zu grosse Geschwindigkeiten haben den Nachtheil, dass eine sehr geringe Verkürzungsdauer schon mehrere spiralige Umgänge aufschreibt und häufig den Ueberblick auf diese Art erschwert. Ich habe daher nur zwei Arten von Geschwindigkeiten, wo es irgend möglich war, gebraucht, eine, bei der ein Umgang der berussten Scheibe 18 und eine zweite, bei welcher er 1,8 Secunden dauerte.

Könnte man Curven erhalten, welche den vollkommen entsprechenden Ausdruck des Verkürzungszustandes des Muskels in jedem Augenblick bildeten und wäre man im Stande, eine bestimmte Curvenform mit bekannten Bedingungen der Muskelthätigkeit in Beziehung zu bringen, so würde es die nicht geringe Mühe lohnen, eine Reihe von Fahrstrichen und den ihnen entsprechenden Winkeln mit einer festen Achse oder Anomalien zu messen, um so die Gleichung der Curve in Polarcoordinaten aufzufinden und die Natur derselben genauer zu bestimmen.

Die Vorbedingungen für eine solche Arbeit sind aber nicht vorhanden. Die unvermeidlichen Reibungen hindern, dass ein Theil der feinern Verhältnisse der Zusammenziehung in der Muskelcurve nicht ausgedrückt wird. Manche Curven scheinen anzudeuten, dass sie nicht aus einer einzigen Gleichung hervorgehen können, sondern das sie ein Aggregat mehrerer successiver Curven von verschiedenen Gleichungen darstellen. Es bleibt unter diesen Verhältnissen Nichts übrig, als bei einigen allgemeinen Bemerkungen stehen zu bleiben.

Der häufig vorkommende asymptotische Zustand, der vorzugsweise unter den schwächenden Einflüssen anhaltender und starker

Erregungen kräftiger Nerven oder mässigerer Reizungen matter auftritt, deutet, wie wir S. 43 sahen, an, dass die Gleichung der Muskelcurve eine logarithmische Function oder sonst eine Form darbietet, welche eine Begegnung erst in der Unendlichkeit anzeigt. Die nähere Betrachtung der Verhältnisse der Muskelcurven macht es überdiess möglich, einige allgemeine Eigenschaften der vorläufig unbekannten Gleichungen derselben anzugeben.

Schreibt man mit kreisförmiger Basis auf, wie dieses in den hier mitgetheilten Untersuchungen geschehen ist, so wird die Ausmessung der Fahrstriche und der entsprechenden Anomalieen es möglich machen, eine Polargleichung von der Form f (r, u, c) = o für die Muskelcurve zu finden, wobei r den Fahrstrich, u die entsprechende Anomalie und c eine Constante bezeichnet. Es versteht sich von selbst, dass man diese Gleichung in eine solche für rechtwinklige Coordinaten umwandeln kann, wenn man x = r sin. α und y = r cos. a oder umgekehrt setzt. Die Polargleichung lässt sich aber auch in eine andere von der Form F (h, t, C) = o umsetzen, in welcher h die Hubhöhe, t die ihr entsprechende seit dem Anfange der Verkürzung verflossene Zeit und C eine Constante darstellt. Denn verlegt man den Anfangspunkt oder den Pol in den Mittelpunkt des Ausgangskreises und nimmt den Halbmesser desselben, der dem Anfangspunkte der Muskelcurve entspricht, als feste Achse, so misst die Anomalie u die seit dem Beginne der Zusammenziehung verflossene Zeit t. Die Hubhöhe h aber gleicht dem Unterschiede des Fahrstriches r und des Halbmessers des Ausgangskreises.

Wären die Gleichungen der Muskelcurven algebraisch, so würde dieses die allgemeine Betrachtung ihrer Eigenschaften erleichtern. Wir haben aber schon hervorgehoben, dass sie wahrscheinlich mit logarithmischen Functionen versehen, also transcendent sind. Der Taylor'sche Lehrsatz gibt dann ein Mittel, die transcendente Grösse durch eine unendliche Reihe darzustellen. Ist diese vollkommen convergent, so kann man beliebig viele Glieder derselben als Annäherungsausdruck benutzen und so eine algebraische Gleichung herstellen. Es könnte aber bei den Muskelcurven vorkommen, dass sie zuerst convergirten und dann divergirten oder überhaupt divergirten oder an einer oder vielen Stellen unendlich würden. Für diesen Fall könnte man die Muskelcurven als Aggregat verschiedener Curven ansehen und diese so begrenzen, dass jeder eine unmittelbar oder durch eine Taylor'sche Reihe ausdrückbare algebraische Gleichung hat.

Die gewöhnlichen Muskelcurven, in denen der Schreibstift zu dem Ausgangskreise zurückkehrt oder ihn selbst nicht erreicht, haben natürlich nur positive Hubhöhen. Macht sich dagegen die durch die Zusammenziehung bedingte Erweichung der Muskelmasse so sehr geltend, dass zuletzt der Schreibstift innerhalb des Ausgangskreises hineinrückt, so kann man möglicher Weise auch eine negative Hubhöhe erhalten. Die Muskelcurve geht nämlich aus dem Kampfe der verkürzenden und der elastischen Kräfte des Muskels hervor. Haben die Ersteren das Uebergewicht, so steigt sie von Null bis zu dem absoluten Maximum. Findet das Entgegengesetzte während der Erschlaffung Statt, so geht die Curve von jener grössten Höhe herunter. Blieben die elastischen Kräfte beständig, so würde die Wirksamkeit der verkürzenden Kräfte unzweifelhaft aufgehört haben, wenn die Curve den Ausgangskreis zum zweiten Male erreicht. Man hätte daher nur positive Hubhöhen. Denn der innerhalb des Ausgangskreises aufgezeichnete Curvenabschnitt wäre eine blosse Dehnungscurve, die nicht mehr zur Muskelcurve gehörte. Da aber der Muskel durch die Zusammenziehung weicher wird, so kann möglicher Weise noch ein Rest der zurückbleibenden Zusammenziehung vorhanden sein, wenn sich der Schreibstift innerhalb des Ausgangskreises hineinzieht. Das nach innen von ihm gehörende Curvenstück mit seinen negativen Hubhöhen müsste dann noch zur Muskelcurve gerechnet werden.

Ein Umstand spricht gegen diese Vermuthung. Als ich früher die Erweichung des Muskels nach dem von Ed. Weber angegebenen Verfahren verfolgte, bemerkte ich schon eine hierher gehörende Erscheinung. Lässt man nämlich den Magnetelektromotor so lange gehen, bis der Zungenbein-Zungenmuskel des Frosches seine ursprüngliche Länge erreicht hat, so verlängert er sich rasch, sowie die elektrischen Schläge aufhören. Man bemerkt nicht die langsame Längenzunahme, die in den letzten Zeiten der elektrischen Reizung Statt gefunden hat. Etwas Aehnliches wiederholte sich in den in dieser Schrift mitgetheilten Beobachtungen. So lange der Schreibstift den Ausgangskreis nicht erreichte, wurde zuletzt ein Theil der Spirale so dicht als möglich neben der benachbarten aufgezeichnet, weil die zurückbleibende Verkürzung asymptotisch ablief. Dieses war aber, wie man z. B. an Fig. 5 sehen kann, nicht der Fall, so wie der Stift innerhalb des Ausgangskreises hineingerückt war. Man hatte daher eine Andeutung, dass die zurückbleibende Verkürzung aufgehört und der geringere Etastieitätsmodul der Muskel-

masse allein gewirkt hatte. Käme dieses immer vor, so liesse sich annehmen, dass die Muskelcurve da aufhört, wo sie den Ausgangskreis von Neuem erreicht.

Die Beschaffenheit der Muskelcurve bringt es mit sich, dass sie wenigstens ein positives Maximum der Hubhöhe an der Uebergangsstelle der grössten Zusammenziehung in den Anfang der Erschlaffung hat. Die Gleichung, welche der Null gesetzte erste Differentialcoëfficient der Gleichung der Muskelcurve liefert, muss daher mindestens eine Wurzel haben, die reell und positiv ist und in die Gleichung des zweiten Differentialcoëfficienten oder eines Differentialcoëfficienten höherer gerader Ordnung eingetragen diese negativ macht. Bleibt die Muskelcurve einfach, so dass sie sich stetig erhebt und dann wiederum stetig sinkt, d. h. fehlten alle wechselkrampfartigen Zusammenziehungen, so hat die Gleichung, welche aus der Nullsetzung des ersten Differentialcoëfficienten hervorgegangen, nur eine einzige reelle Wurzel. Sie kann aber keine Gleichung ersten Grades bilden, weil die der Muskelcurve, aus der sie entstanden, keiner solchen zweiten Grades entspricht. Besitzt sie reelle Coëfficienten, und gehört sie einem höheren Grade an, so muss sie ausser der einen reellen Wurzel noch eine gerade Zahl von imaginären, die paarig zusammen geordnet sind, also im Ganzen eine ungerade Zahl von Wurzeln haben. Hieraus folgt, dass die Gleichung der Muskelcurve eine höhere Gleichung sein wird, in welcher der höchste Exponent der Unbekannten gerade ist.

Haben krampfhafte Erscheinungen gleichzeitig eingegriffen, bei der Durchleitung zu starker Ströme oder bei dem Oeffnungsklonus, so zeigt die Muskelcurve ein mehrfaches Auf- und Niedersteigen. Man hat eine Anzahl relativer Maxima und Minima ausser dem Hauptmaximum. Wären alle Wechselkrämpfe vollständig, — was freilich nicht immer der Fall ist — so giebt jeder von ihnen ein Maximum und ein Minimum. Da aber das bei allen Muskelcurven auftretende Hauptmaximum kein entsprechendes Minimum besitzt, so folgt, dass die Zahl der Maxima die der Minima um eine Einheit übertrifft. Die Gleichung, welche aus der Nullsetzung des ersten Differentialcoëfficienten der Muskelcurve hervorgeht, muss daher eine ungerade Zahl reeller Wurzeln haben. Diejenige Menge derselben, welche in die Gleichung des zweiten Differentialcoëfficienten oder in die eines höheren Differentialcoëfficienten gerader Ordnung eingetragen, diese negativ macht, muss die Zahl derer, die ihnen einen positiven Werth giebt, um Eins übertreffen. Die ungerade

Zahl der Wurzeln bei der Anwesenheit reeller Coëfficienten in der die Maxima und die Minima bestimmenden Gleichung lässt wiederum schliessen, dass sie selbst eine Gleichung ungeraden und die der Muskelcurve eine solche paarigen Grades sein wird.

Da die Muskelcurve an dem Ausgangskreise beginnt, so ist die Hubhöhe am Anfange der Zeit Null. Die Gleichung derselben wird daher kein Glied mit t^0 oder kein beständiges Glied enthalten, Dieses lässt sich nicht allgemein von der die Maxima und die Minima bestimmenden Gleichung aussagen, da sie nur dann kein beständiges Glied darböte, wenn t nicht in einfacher Potenz in der Gleichung der Muskelcurve vorkäme.

Wir wollen nun einige der gewöhnlichsten Curvenformen näher betrachten:

Die Fig. 12 gezeichnete Form findet sich häufig bei nicht zu starken Kettenströmen, welche die Beschaffenheit des Nerven nicht wesentlich ändern. Man hat die obere Curve im Augenblick des Schlusses und die untere in dem der Oeffnung, wenn eine doppelte Wirkung zum Vorschein kommt. Es zeigt sich hier als Regel, von der im Ganzen nur seltene Ausnahmen vorkommen, dass das absolute Maximum der Ausweichung, der Längenabnahme oder der Hubhöhe vor der Mitte des der Zusammenziehung entsprechenden Zeitbogens erscheint d. h. dass die Zusammenziehung kürzer, als die Erschlaffung anhält. Ist Alles in Ordnung und der Strom nicht zu stark oder der Nerv und der Muskel nicht durch vorangehende Versuche verändert worden, so kehrt der Zeichenstift am Ende der Schliessungszuckung und der Oeffnungszuckung zu dem Anfangskreise zurück d. h. der von einem hinreichend starken Gewichte gespannte Muskel gewinnt seine ursprüngliche Länge während des Geschlossenseins der Kette und nach dem Oeffnen derselben. Man sieht z. B. aus Fig. 13, dass das Gleiche bei den starken kräftigen und länger anhaltenden Wirkungen

Fig. 12.

Fig. 13.

von mächtigen Ketten (Inductionströmen und Extraströmen) ebenfalls einzutreten pflegt. Mit einem Worte der Muskel tritt in der Regel rascher in den durch die Nebenbedingungen gegebenen Maximalzustand der Zusammenziehung, als er aus diesem zu seinem ursprünglichen Zustande vollständig zurückkehrt. Die verkürzenden Kräfte herrschen dann in der ersten Periode nicht so lange über die elastischen vor, als das Umgekehrte in der zweiten der Fall ist.

Der Uebergang erfolgt in gewöhnlichen Verhältnissen in stetigem Gange. Es kommt jedoch, besonders bei länger dauernden Schliessungs- oder Oeffnungszuckungen vor, dass die Muskelcurve an einzelnen Stellen auf- und niedergeht, also relative Maxima und Minima ausser dem absoluten Hauptmaximum darbietet, d. h. der Muskel zitterte, während er seine immer nur kurze Zeit dauernde Schliessungs- oder Oeffnungszuckung vollführte. Man findet dieses am häufigsten, wenn der Nerv und der Muskel schon eine Reihe von Versuchen ausgehalten haben. Der nicht stetige Gang zeigt sich nicht selten bei der kräftigen und verlängerten Oeffnungszuckung starker Inductions- oder Extraströme und mächtiger Ketten, wobei jene Oeffnungszuckung den Uebergang zu dem Oeffnungsklonus und dieser den zum Oeffnungstetanus bildet. Die letzteren sind wahrscheinlich immer mit solchen Wechselkrämpfen verbunden.

Der Auf- und Niedergang der Zusammenziehung kann während des Ansteigens, wie während der Abnahme der Verkürzung eingreifen. Man sieht ihn im Allgemeinen, wie es scheint, während der Erschlaffung häufiger, als während des Wachsens der Zusammenziehung. Er setzt einen gewissen schon oder noch vorhandenen Grad der Verkürzung als Bedingung voraus.

Verläuft die Curve zuletzt asymptotisch, sei es in Folge der Wirkung von Kettenströmen (Fig. 12) oder der des Magnetelektromotors (Fig. 13), so treten solche augenblickliche Grössenschwankungen der Zusammenziehung nicht mehr auf. Man hat eine stetige Abnahme. Es kommt in solchen Fällen oft vor, dass die Zusammenziehung einen grossen abfallenden Sprung unmittelbar vor dem Beginne des asymptotischen Verlaufes darbietet. (Fig 12).

Die Länge des Bogens des Ausgangskreises, welcher zwischen dem Anfangspunkte der Muskelcurve und dem Durchschnittspunkte des dem absoluten Verkürzungsmaximum entsprechenden Fahrstriches mit dem Ausgangskreis liegt, bestimmt die Zeit, innerhalb welcher der Muskel die grösste Verkürzung erreicht hat. Das ansteigende Stück der Muskelcurve wird um so steiler emporgehen, je kleiner

jener Bogen ausfällt. Man sieht z. B. aus Fig. 14, dass der kräftig eingreifende Magnetelektromotor eine nur sehr wenig geneigte Ansteigung hervorrief d. h. dass der von starken Inductionsströmen nachdrücklich tetanisirte Nerv den Muskel zu seiner scheinbar grösstmöglichen Zusammenziehung in äusserst kurzer Zeit nöthigte. Die nachträgliche Maximalerhöhung (S. 46) war hier kaum merklich und kleiner als $^1/_{20}$ Millimeter. Fig. 13 dagegen zeigt uns ein weit schieferes, gleichsam liegenderes Ansteigen. Ein auf- und niedergehender Verlauf des Emporgehens kann in beiden Fällen vorkommen.

Fig. 14.

Man darf im Allgemeinen den Satz aufstellen, dass der Muskel das absolute Maximum seiner Zusammenziehung um so rascher erreicht, je kräftiger er ist, je stärker und anhaltender die elektrische Erregung eingreift und je weniger Hindernisse die Belastung dem rasehen Emporgehen entgegensetzt. Man findet z. B. ein mehr oder minder steiles Ansteigen bei den Wirkungen des Magnetelektromotors. Lässt man diesen ein erstes Mal bis zum Beginne des asymptotischen Zustandes arbeiten, so erhält man eine Ansteigungslinie, deren Richtung sich weit mehr der des entsprechenden Halbmessers des Anfangskreises nähert, als die gleiche Linie des zweiten in derselben Art wiederholten Versuches ausfällt. Dieser liefert einen weniger liegenden Theil des Anfangsabschnittes der Muskelcurve, als der dritte u. s. f. Eine geringere Belastung hat immer die Neigung, die Anfangscurve steiler und eine stärkere, dieselbe liegender zu machen. Sie verläuft schiefer bei den Schliessungs- und Oeffnungszuckungen schwacher oder starker Ketten- oder augenblicklicher Inductionsschläge, als bei den sich summirenden Wirkungen eines kräftigen Magnetelektromotors. Ein steigender und fallender Gang der Anfangscurve oder ein Auf- und Niedergang der Verkürzungsgrösse während des Ansteigens kann bei steiler, wie bei liegender Stellung der Anfangscurve vorkommen.

Die Betrachtung von Fig. 14 kann uns noch zwei Eigenthümlichkeiten klar machen. Der Gang des Magnetelektromotors wurde hier unterbrochen, als die Hubhöhe merklich abzunehmen begann. Obgleich sich dann der Muskel sogleich beträchtlich verlängerte, so

sieht man doch, dass die Abfallscurve weit liegender, als die Ansteigungscurve ist, d. h. sie brauchte eine weit kürzere Zeit für den Uebergang des Muskels aus dem Ruhezustande in das absolute Verkürzungsmaximum, als für die Rückkehr desselben aus einem Zustande, der schon unter dem des absoluten Verkürzungsmaximums lag, zu der zurückbleibenden Verkürzung. Eine zweite Erscheinung, auf die man hier in der Regel stösst, besteht darin, dass die Abfallscurve schwach auf- und niedergeht, d. h. dass man keine stetige Erschlaffung hat, wenn die elektrischen Schläge am Anfange des Versuches plötzlich aufhören. Diese Erscheinung erinnert an die Verhältnisse, welche oben für die Oeffnungszuckung eines augenblicklichen Inductionsschlages und des Oeffnungsklonus hervorgehoben wurden.

Fig. 15.

Es liegt die Vermuthung nahe, dass die Spirallinien, die dem asymptotischen Zustande oder der nachträglichen Verkürzung angehören, Bruchstücken einer geometrisch bestimmbaren Spirale ähnlich seien. Ich drücke mich absichtlich so aus, weil eine Gleichheit unmöglich ist, da sie eine Ueberschreitung des Ausgangskreises und die Erreichung des Mittelpunktes oder die asymptotische Annäherung an ihn voraussetzen und das asymptotische Verhältniss zum Ausgangskreise ausschliessen würde. Da hier der Fahrstrich der Windungen mit der Grösse der Anomalie oder des Zeitbogens abnimmt, so hätte man zunächst an Spiralen zu denken, in denen der Werth von n in der allgemeinen Polargleichung $r = av^n$ negativ ist, z. B. an eine hyperbolische Spirale. Der blosse Anblick der Curve lehrt aber, dass sie der Form der Letzteren nicht entspricht. Die Untersuchung mit der Loupe führt vielmehr zu der Vermuthung, dass die Windungen der Spirale der Muskelcurve denen einer archimedischen Spirale (wo $n = 1$ und $a = \frac{1}{2\pi}$) ähnlich sind. Fände eine Gleichheit beider statt, so würde dieses zu einer eigenthümlichen Folgerung führen. Die archimedische Spirale besitzt die Eigenschaft, dass die von dem stetig bewegten erzeugenden Punkte zurückgelegten Wege den Anomalien proportional sind. Jene Wege des Punktes der erzeugenden Linie entsprechen aber den Abnahmen der Verkürzungs-

grössen des Muskels im Laufe der Zeit und die Anomalien den Zeitbögen. Der Muskel würde sich also während der nachträglichen Verkürzung oder während des asymptotischen Zustandes der Zeit proportional verlängern. Dass dieses nicht in allen Fällen stattfindet, lässt sich schon aus Fig. 14 ersehen. Man hat hier in der Mitte eine Stelle, in der ein plötzlicher Sprung zum Vorschein kommt. Jene Norm scheint aber allerdings in vielen Fällen wenigstens annähernd für einige Zeit durchzugreifen.

Es könnte an und für sich nur dann ein Interesse haben, die absoluten Zeitwerthe einer Schliessungs- oder einer Oeffnungszuckung zu bestimmen, wenn man einen Einzelfall genauer analysiren wollte, da jene Zeitgrössen mit den Nebenumständen in hohem Grade wechseln. Um jedoch einen ungefähren Begriff der einzelnen wichtigeren Zeitgrössen zu erhalten, wollen wir diese nach den verschiedenen, in Fig. 2 bis 8 vorkommenden Muskelcurven bestimmen.

		Zeitdauer in Secunden.
Fig. 2. Schwacher Kettenstrom.	Aeusserer Kreis.	
	Schliessungszuckung (Zuckungsgesetz des lebenden Nerven)	$^{23}/_{100}$
	Innerer Kreis.	
	Schliessungszuckung	$^{9}/_{25}$
	Oeffnungszuckung	$^{13}/_{50}$
	oder ungefähr	$^{1}/_{4}$
Fig. 3. Starker Kettenstrom.	Aeusserer Kreis, absteigender Strom.	
	Schliessungszuckung (nicht ganz beendigt)	$^{73}/_{100}$
	oder ungefähr	$^{7}/_{10}$
	Oeffnungszuckung (ohne den asymptotischen Zustand)	$^{1}/_{4}$
	Innerer Kreis. Aufsteigend.	
	Schliessungszuckung	$1^{1}/_{5}$
Fig. 4. Starker Kettenstrom.	Aeusserer Kreis.	
	Schliessungszuckung	$^{6}/_{25}$
	Langdauernde Oeffnungszuckung	$^{77}/_{100}$
	oder ungefähr	$^{4}/_{5}$
	Innerer Kreis.	
	Schliessungszuckung	$^{3}/_{10}$
	Lange Oeffnungszuckung (ohne den asymptotischen Zustand)	$^{4}/_{5}$
Fig. 5. Inductionsschlag.	Aeusserer Kreis.	
	Oeffnungsschlag (ohne den asymptotischen Zustand)	$^{1}/_{3}$
	Innerer Kreis.	
	Schliessungszuckung	$^{31}/_{100}$ od. $^{3}/_{10}$
	Oeffnungszuckung (ohne den asymptotischen Zustand)	$^{9}/_{20}$
Fig. 6. Extrastrom.	Aeusserer Kreis. Absteigender Strom.	
	Oeffnungszuckung (ohne den asymptotischen Zustand)	$1^{1}/_{10}$
	Innerer Kreis. Aufsteigender Strom.	
	Nicht vollendete Schliessungszuckung	$1^{1}/_{5}$
	Oeffnungszuckung (ohne den asymptotischen Zustand)	$^{7}/_{10}$

		Zeitdauer in Secunden.
Fig. 7. Inductionsschläge des Magnetelektromotors.	Zeitdauer der Herstellung des scheinbaren Maxim. der Längenabnahme des Muskels	3/5
Fig. 8. Inductionsschläge des Magnetelektromotors.	Zeitdauer der Herstellung des scheinbaren Maxim. der Längenabnahme	1 1/5
	Haupterschlaffung unmittelbar nach dem Oeffnen der erregenden Kette (ohne den asymptotischen Zustand)	1 9/10
	Dauer des asymptotischen Zustandes	468
	Dauer der nachträglichen Maximalerhöhung . .	mehr als 18.

§. 5. Die Leistungsgrösse der Muskelthätigkeit.

Das Versuchsverfahren, dessen man sich bis jetzt in der Physiologie bediente, gestattete eine nur unvollständige Bestimmung der Grösse der Muskelarbeit. Man konnte das Maximum der Hubhöhe finden. Da aber die Belastung unmittelbar gegeben war, so vermochte man nach dem Producte beider Grössen zu sagen, wieviel Grammen-Centimeter Nutzwirkung ein Froschmuskel in einem gegebenen Falle geliefert hatte. Diese rein dynamische Angabe litt aber an einer doppelten Unvollständigkeit. Man zog nur das Maximum der Hubhöhe oder der Längenabnahme des Muskels, nicht aber die ihm vorangegangenen und die ihm nachfolgenden Verhältnisse in Betracht. Man wusste ferner nicht, welche Zeit lang die Belastung in der der Berechnung zu Grunde gelegten Hubhöhe emporgehalten worden. Die Bestimmung der Nutzwirkung liess sich daher auch nicht auf eine Zeiteinheit zurückführen und mit Schärfe vergleichbar machen.

Die Mechanik zog zwar bis jetzt die Zeit ebenfalls in Betracht, indem sie die Werthe der Nutzwirkung mit Bezug auf eine gegebene Zeiteinheit zu bestimmen suchte und z. B. sagte, dass eine gegebene Arbeit nn Kilogramm-Meter in einer Secunde emporhob. Die nähere Betrachtung lehrt aber, dass diese dynamisch-statische Behandlungsweise der Natur der Muskelthätigkeit nicht entspricht und dass auch die Mechanik einen anderen Ausdruck für die von lebenden Wesen gelieferten Arbeiten wird annehmen müssen.

Denkt man sich, ein Muskel oder eine Muskelgruppe halte eine Last von zwei Kilogrammen einen halben Meter hoch eine Secunde lang emporgehoben, so hat man eine Arbeit von einem Kilogramm-Meter für die Secunde. Wenn nun eine andere Muskelgruppe sechs Kilogramm einen halben Meter hoch drei Secunden lang heben würde, so müsste die Arbeitsleistung nach

der bis jetzt gebräuchlichen Auffassungsweise der Mechanik auch nur $\frac{6 \times \frac{1}{2}}{3}$ oder ein Kilogramm-Meter betragen. Die Unrichtigkeit dieser Auffassung ergiebt sich aber ohne Weiteres. Denn die Muskelgruppe arbeitete in dem zweiten Falle viel kräftiger, indem sie eine grössere Last zu derselben Höhe emporhob und sie drei Mal so lang auf jener Hubhöhe fortwährend erhalten hat.

Man wird einen besseren, alle diese Unterschiede umfassenden Ausdruck bekommen, wenn man die Arbeit nicht durch das Product der Hubhöhe und der Last, sondern durch das Product dieser beiden Grössen und der Zeit ausdrückt, also nicht von Kilogramm-Metern, sondern von Kilogramm-Meter Secunden spricht. Die Muskelgruppe, die 2 Kilogramm eine Secunde lang um einen halben Meter gehoben hält, hat dann $2 \times 1 \times 1/2 = 1$ Kilogramm-Meter-Secunde als Arbeitsgrösse und die, welche 6 Kilogramm 3 Secunden lang einen halben Meter hoch trägt, $6 \times 3 \times 1/2 = 9$ Kilogramm-Meter-Secunden mechanischer Leistung. Diese Auffassungsweise deutet also die dreifache Belastung und die dreifache Arbeitszeit gebührend an. Ich sage nicht, dass sie sie wahrheitsgemäss ausdrücke. Denn auch in dieser Bestimmungsweise liegt noch ein Fehler, den man für die meisten Fälle nicht vermeiden kann. Man muss nämlich bedenken, dass eine Muskelgruppe, welche die gleiche Belastung auf der gleichen Hubhöhe 3 Secunden erhält, mehr als das Dreifache der Ermüdung wegen leistet, als eine andere Muskelgruppe, welche dieselbe Last auf derselben Hubhöhe eine Secunde lang trägt. Da man aber nicht weiss, wie der ursprüngliche Zustand des Muskels, der einwirkende Reiz, die Belastung und der absolute Werth der Zeitdauer der Erregung und der Arbeit in dieser Beziehung wirken, so lässt sich auch kein Verbesserungscoëfficient angeben, durch den man die Arbeitsleistung auf ihren vollkommen richtigen Ausdruck zurückführen könnte.

Die frühere Auffassung der Arbeitsleistung machte es möglich, das Ganze in der Form einer ebenen Curve geometrisch darzustellen. Man konnte z. B. die Widerstände oder die Belastungen als Abscissen und die Hubhöhen als Ordinaten verzeichnen und so die verschiedenen Nutzwirkungen bei mannichfachen Belastungen in dem Bilde einer ebenen Curve wiedergeben. Ich habe eine solche Darstellungsweise in der vierten Auflage meines Grundrisses Fig. 385, S. 544 für eine Versuchsreihe geliefert, die an dem Zungenbein-Zungenmuskel eines Frosches angestellt wurden. Nimmt man dagegen

Einheiten von Grammen-Centimeter-Secunden an, so muss man natürlich drei Coordinaten wählen, eine für die Belastungen, eine zweite für die Hubhöhen und eine dritte für die Arbeitszeiten. Die ältere Auffassung gibt mit einem Worte eine Darstellung einer ebenen Curve. Ihr genügt daher das Coordinatensystem der Ebene. Die neuere dagegen fodert die bildliche Auffassung nach drei Coordinaten, also nach körperlichen Verhältnissen, oder ein Coordinatensystem des Raumes und kann daher möglicher Weise eine Curve von doppelter Krümmung liefern.

Die älteren an Froschmuskeln angestellten Untersuchungen, welche nur das Maximum der Hubhöhe berücksichtigten und die Arbeitszeit ausser Acht liessen, führten zu dem Ergebnisse, dass die grösste Arbeitsleistung weder bei der stärksten Hubhöhe noch bei dem bedeutendsten Widerstande, sondern bei einem mittleren Werthe beider auftritt. Fasst man die Sache so auf, wie sie eben dargestellt worden, so ergibt sich, dass dieser auch schon früher in der Mechanik behauptete Satz nur bedingt richtig ist. Man stösst in der Wirklichkeit auf andere Beziehungen, die zwar auf den ersten Blick sonderbar erscheinen, sich aber nichts desto weniger leicht nachweisen lassen.

Das erste Paradoxon besteht in dem Ausspruche, dass die zurückbleibende Verkürzung oder der asymptotische Zustand eine grössere Leistung, als irgend eine andere Stufe der Zusammenziehung ihrer ausserordentlich langen Dauer wegen ausübt, so wie man die Arbeitszeit in Betracht zieht. Wir wollen dieses an zwei Beispielen klar machen.

Ich hatte die Waagschale der Schreibvorrichtung mit 20 Grm. in dem Fig. 16 dargestellten Versuche belastet. Der Muskel musste also 28,5 Grm. im Ganzen tragen. Die wirkliche maximale Verkürzung betrug 0,88 Centimeter und dauerte ungefähr 25 Secunden. Sie gab also eine Nutzwirkung von $28{,}5 \times 0{,}88 \times 25 = 627$ Grammen - Centimeter - Secunden. Die nachträgliche Verkürzung begann mit einer Hubhöhe von ungefähr $2^1/_2$ Millimetern und hörte asymptotisch abnehmend nahe am Ausgangskreise auf. Wir wollen daher ihren mittleren Werth zu $1^1/_1$ Mm. anschlagen. Da nun die

Fig. 16.

Dauer der zurückbleibenden Verkürzung mehr als 468 Seeunden betrug (denn ieh liess den Stift den Anfangskreis selbst nicht erreiehen) so hat man eine Arbeitsleistung von mehr als $28{,}5 \times 1{,}25 \times 468 =$ 16672,5 Grammen-Centimeter-Secunden oder eine 26 bis 27 Mal so grosse Arbeit, als die wahre maximale Zusammenziehung. Reehnet man die Zeit hinzu, die nöthig gewesen wäre, den Ausgangskreis zu erreichen, so lässt sieh behaupten, dass der asymptotisehe Zustand mindestens eine dreissig Mal so grosse mechanische Leistung darbot.

Der Unterschied kehrt wieder, wenn ein starker Induetionssehlag eine beträehtliehe zurüekbleibende Verkürzung herbeiführt. Fig. 17 liefert ein solehes Beispiel. Das Anflagsgewieht betrug wiederum 20 Grm. Man hatte eine maximale Hubhöhe von 0,75 Centimeter. Es dauerte ungefähr $^9/_{10}$ Seeunden bis die asymptotische Verkürzung begann. Die Maximalverkürzung gab daher eine Arbeitsleistung, die weniger als $28{,}5 \times 0{,}75 \times 0{,}9 = 19{,}2$ Grammen-Centimeter-Seeunden betrug. Der asymptotisehe Zustand umfasste mindestens 6 Umgänge von je 18 Seeunden, während er von ungefähr einem Millimeter bis auf Null sank. Die naehträgliehe Zusammenziehung hatte also eine Arbeitsleistung von mehr als $28{,}5 \times 0{,}05 \times 108 = 153{,}9$ Grammen-Centimeter-Seeunden oder von mehr als aeht Mal so viel als die Maximalwirkung des Oeffnungssehlages des starken Induetionsstromes.

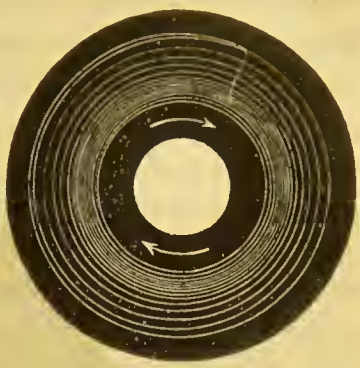
Fig. 17.

Der einzige Grund der grossen Leistungen der zurüekbleibenden Zusammenziehung liegt in der Langsamkeit, mit weleher die Zusammenziehung abklingt. Da nun Muskeln, die sehon geschwächt worden, einen länger anhaltenden asymptotisehen Zustand darzubieten seheinen als kräftige und nieht ersehöpfte, so gelangt man zu dem zweiten Paradoxon, dass der matte Muskel eine grössere Arbeitsleistung während seiner zurüekbleibenden Verkürzung liefert, als der stärkere.

Es liegt in der Natur der früher dargestellten Verhältnisse der Muskeleurve und der blosse Anblick von Fig. 18 lehrt sehon, dass im Allgemeinen die Spiralwindungen sehon vor dem Eintritte des asymptotisehen Zustandes um so enger zusammenrücken, je längere Zeit seit dem Anfange des Versuches verstrieben ist. Man hat

also zwar eine geringere Hubhöhe, aber eine längere Wirkungsdauer und eine langsamere Abnahme der Verkürzung. Hieraus ergibt sich, dass die mechanische Leistung der scheinbaren oder wirklichen Maximalverkürzung wiederum geringer sein wird, als die mittlere Nutzwirkung, welche eine spätere Periode der Zusammenziehung des mit dem Magnetelektromotor behandelten Muskels liefert.

Fig. 18.



Die auch die Zeiten berücksichtigende Verfolgung der mechanischen Leistung bei verschiedenen Beschwerungen stösst auf ausserordentliche Schwierigkeiten, weil hier der Zustand des Nerven und des Muskels nicht selten tiefer eingreift, als aller Wechsel der Beschwerungen.

Die genaue Messung der Hubhöhen fodert ausgiebige Zusammenziehungen selbst bei grösseren Belastungen. Man muss daher starke Kettenströme oder kräftige Inductionsschläge gebrauchen. Diese ändern jedoch bald die Beschaffenheit des Nerven. Seine Wirkungen sinken in der Regel. Wie aber die Thätigkeit eines erschöpften Nerven durch einen constanten Strom gehoben werden kann, so erholt er sich auch bisweilen nach verhältnissmässiger Ruhezeit so sehr, dass er dann mehr als im Anfange leistet. Es kann daher vorkommen, dass z. B. der in einem dritten Versuche mit 148,5 Grm. belastete Muskel eine grössere Hubhöhe, als der mit 18,5 Grm. beschwerte in einem ersten darbietet. Ich begegnete solchen Abweichungen, ich mochte die auf verschiedene Gewichte bezogenen Vergleichsversuche unmittelbar hinter einander vornehmen oder zehn Minuten oder eine Viertelstunde zwischen zwei Beobachtungen in völliger Ruhe und ohne alles aufgelegte Gewicht verstreichen lassen. Rechnet man nun noch dazu, dass es geradezu unmöglich ist, die Abgleichungen so starker Ströme in mehreren Versuchen vollkommen übereinstimmend zu machen, dass also auch die Erregungen verschieden ausfallen, so wird man sich eines gewissen Misstrauens in die Ergebnisse der scheinbar reinsten Versuche nicht erwehren können.

Ich bestimmte die mechanische Leistung der scheinbaren oder der wirklichen Maximalverkürzung auf zwei Wegen, die uns Fig. 19 und 20 am Besten versinnlichen können. Kräftige Frösche wurden mit zu- oder abnehmenden Gewichtsbeschwerungen behandelt. Man

machte in der Regel die erste Beobachtung so rasch als möglich nach der Einspannung des Fusses in den Schreibhebel.

Das erste Verfahren, von dem Fig. 19 ein Beispiel liefert, bestand darin, dass ich die Wirkung des Magnetelektromotors hemmte, so wie der Schreibstift einen vollen 18 Secunden dauernden Umgang beschrieben hatte. Der innerste Kreis von Fig. 19 bezieht sich auf

Fig. 19.

ein Auflagsgewicht von 20 Grm., der mittlere auf eines von 40 und der äusserste auf eines von 80 Grm. Nun misst man die maximale Hubhöhe, verfolgt die Muskelcurve bis zu der Stelle, wo ihre Entfernung von dem Ausgangskreise merklich abzunehmen beginnt und bestimmt hiernach die Zeit, zu welcher das Maximum der Verkürzung sichtlich abgenommen hat. Vollführte ich dieses an dem Fig. 16 zu Grunde liegenden Originalexemplare, so fand sich:

Belastung in Grm.	In Centimetern ausgedrückte grösste Hubhöhe.	Annähernde Dauer der grössten Verkürzung in Secunden.	Mechanische Leistung in Grammen-Centimeter-Secunden.
28,5	0,38	5,5	60,65
48,5	0,4	11,2	217,28
88,5	0,4	3,3	116,82.

Diese Zahlen bilden nur sehr ungefähre Grössen der Natur der Sache nach. Obgleich die für die Nutzwirkung erhaltenen Werthe der Norm entsprechen, die man für die Maximalleistung ohne Berücksichtigung der Zeit erhält, obgleich daher die mechanische Leistung bei 48,5

Grammen grösser, als bei 28,5 und 88,5 ist, so deuten doch die verzeichneten Werthe an, dass auch hier der Zustand des Nerven oder Muskels ändernd eingriff, da die Hubhöhen nur geringe Unterschiede trotz aller Belastungsverschiedenheit dargeboten haben.

Das zweite Versuchsverfahren, von dem Fig. 20 ein Beispiel liefert, bestand darin, dass ich eine zehn Mal so grosse Umdrehungsgeschwindigkeit, als in dem ersteren Falle nahm, mithin ein Umgang nur 1,8 Secunden forderte und mit der Wirkung des Magnetelektromotors einhielt, nachdem die Fahrstriche der Spirallinie kleiner zu werden begonnen hatten. Die innerste Curve bezieht sich auf ein Anflagsgewicht von 20, die mittlere auf ein solches von 40 und die äusserste auf eines von 80 Grm. Die verhältnissmässig beträcht-

Fig. 20.

liche Umdrehungsgeschwindigkeit bedingt es, dass das wahre Maximum erst in bedeutender Entfernung von dem Ausgangspunkte erreicht wird, wie man an den beiden äusseren Muskelcurven am Deutlichsten sieht. Das Originalexemplar dieser Curve ergab nun:

Belastung in Grm.	In Centimetern ausgedrückte Hubhöhe.	Annähernde Dauer der grössten Verkürzung.	Mechanische Leistung in Grammen-Centimeter-Secunden.
28,5	0,65	2,8	51,87
48,5	0,70	1,6	54,32
88,5	0,70	0,42	26,02.

Man kann hier die gleiche Bemerkung, wie für die in Fig. 19 dargestellten Versuchsreihen machen. Die Zahlen der Nutzwirkungen ergeben zwar wieder, dass der verhältnissmässig grösste Werth derselben einer mittleren Belastungsgrösse entspricht. Die Tragzeiten nehmen in diesem Beispiele mit der Grösse der Widerstände ab, was bei dem ersten Beispiele nicht statt fand. Allein die Hubhöhen fielen für die verschiedensten Belastungen nahezu gleich aus — ein Umstand, der wiederum darauf hindeutet, dass man mit wechselnden Zuständen des Nerven und des Muskels oder mit ungleichen Erregungen gearbeit hat.

Ein sehr auffallendes Beispiel, welchen Einfluss die letzteren Bedingungen haben, lieferte eine Versuchsreihe, in der der ganz frische Wadenmuskel zuerst 88,5 dann 48,5 und hierauf 28,5 Grammen zu tragen hatte und die Zusammenziehung durch einen Inductionsschlag herbeigeführt wurde. Es ergab sich:

Belastung in Grm.	In Centimetern ausgedrückte Hubhöhe.	Annähernde Dauer der grössten Verkürzung.	Mechanische Leistung in Grammen-Centimeter-Secunden.
88,5	0,43	4,0	142,22
48,5	0,52	4,5	113,49
28,5	0,42	2,1	25,14.

Man hatte also hier die grösste Leistung bei der stärksten Belastung von 80 Grammen. Diese beträchtliche, von den ganz frischen Theilen gelieferte Arbeit erschöpfte sie so sehr, dass die späteren Leistungen trotz der Abnahme der Zuggewichte immer mehr heruntergingen.

Es wäre daher vergebliche Mühe, die wahren Gesetze der Arbeitsleistung aufzusuchen. Nur ein Verfahren, welches vor den Ungleichheiten der Erregungen und vorzugsweise vor dem Stimmungswechsel des Nerven und des Muskels in den einzelnen Versuchen sicherte, könnte die Lösung dieser Aufgabe möglich machen.

§. 6. Der Einfluss des elektrotonischen Zustandes.

Man musste eine ziemlich verwickelte Versuchsanordnung herstellen, um die hier in Betracht kommenden Haupterscheinungen zu erforschen. Ich beschränkte mich dabei auf einzelne wesentliche Punkte, da ein vielseitiges Verfolgen des Gegenstandes, und zwar vorzugsweise die Ermittelung der Einflüsse der Stimmungsänderung und der Ermüdung der Nerven und der Muskeln, ein besonderes Werk nöthig machte.

Ich nahm in der Regel zwei kleine mit verdünnter Schwefelsäure geladene Zink-Kohlenelemente als erregende und drei grosse eben so geladene Zink-Kohlenelemente als elektrotonisirende oder hemmende Elemente. Es waren dieses dieselben, deren Veränderlichkeit ich mit der Spiegelboussole untersucht hatte (S. 10). Vorversuche lehrten, dass die elektrotonisirende Batterie weder zu stark, noch zu schwach eingriff, um die hier auftretenden Gesetze gänzlich zu verdecken oder wenigstens minder kenntlich zu machen.

War der Frosch nach der Zerstörung des Gehirns, wie gewöhnlich, aufgebunden und der obere Abschnitt des Fusses in die Pincette des Schreibhebels eingeklemmt worden, so stach man 6 mit den Elektroden verbundene Nadeln, die man durch den Aufenthalt in einer Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul amalgamirt hatte, in den Oberschenkel. Nennen wir sie der Reihe nach von oben nach unten a, b, c, d, e und f, so führten die mittleren e und d den sogenannten beständigen Strom zu, wenn man die extrapolaren Abschnitte prüfen wollte. a und b dagegen, oder e und f wurden mit der erregenden Kette verbunden. Man ordnete Alles so an, dass man den Strom nur durch a und b oder nur durch e und f zu leiten vermochte. Jeder dieser beiden Ströme konnte mit und ohne den beständigen Strom wirken. Man hatte also nach Belieben, die Reizung einer oberhalb oder einer unterhalb des elektrotonisirten Bezirkes gelegene Strecke und konnte so unmittelbar wahrnehmen, welchen Einfluss der Elektrotonus auf seine Nachbarschaft in den beiden verschiedenen Richtungen ausübt.

Die eine Elektrode der beständigen Kette ging unmittelbar zur Nadel c, die andere dagegen zuerst durch die S. 4 erwähnte Schlüsselvorrichtung und dann zu der Nadel d. Die Drehung des Schlüssels konnte daher diesen Strom schliessen oder öffnen. Der Wechsel der Stromesrichtung wurde unmittelbar an den Ketten-

polen vorgenommen, um nicht die Einrichtung durch die Einschaltung eines zweiten Stromwenders allzusehr zu verwickeln.

Man überliess wiederum den Schluss der erregenden Kette dem Uhrwerke mittelst des an der zweiten Achse sich drehenden Stahlstiftes und des Queksilbertropfens, wie es S. 6 beschrieben worden. Ein eingeschalteter Pohl'scher Stromwender machte die schnelle Umkehr der Stromesrichtung möglich. Ich fügte endlich noch ein Gestell hinzu, das zwei Quecksilber enthaltende Gläschen trug. Wir wollen sie p und q nennen. Sie dienten, den erregenden Strom entweder nur durch die obere oder nur durch die untere Nervenstrecke zu leiten.

Die eine Elektrode der erregenden Kette ging zunächst zu der nicht isolirten Klemme des Uhrwerkes. Die isolirte enthielt einerseits einen Drath, der mit dem auf dem Holzteller befindlichen Quecksilbertropfen verbunden war und anderseits einen zweiten, der in das Quecksilber der einen seitlichen Vertiefung des Stromwenders tauchte. Die zweite Kettenelektrode begab sich unmittelbar zu dem Quecksilber der zweiten seitlichen Vertiefung. Der Drath, der mit dem Quecksilber der einen vorderen Vertiefung verbunden war, tauchte in das Gläschen p und der, welcher von der anderen vorderen Vertiefung ausging, in das Gläschen q. Jede der vier Nadeln a, b, c und f war mit einem dicken Drathe und dieser mit sehr feinem und daher leicht beweglichen übersilberten Kupferdrathe verbunden. Dieser trug eine Nadel an seinem Ende.

Drei Unterbrechungen fanden sich unter diesen Verhältnissen in dem Gesammtkreise vor:

1) Die eine bestand zwischen den seitlichen und den vorderen Quecksilbernäpfen des Stromwenders. Die Einsetzung des Kupferschliessers stellte hier die Verbindung her, so dass der Strom in der einen oder der entgegengesetzten Richtung durchgehen konnte.

2) Wollte man den Strom durch das obere Nervenstück fliessen lassen, so versenkte man die a und b entsprechenden am Ende der beiden feinen Kupferdräthe befestigten Nadeln in p und q. Sollte er das untere Nervenstück durchsetzen, so nahm man c und f. Endlich

3) befand sich die dritte Unterbrechung in dem Uhrwerke. Der Schluss erfolgte hier erst dann, wenn der an der zweiten Achse metallisch befestigte Stahlstift den Quecksilbertropfen des Holztellers berührte. Man hatte daher eine Schliessung und eine Oeffnung der Kette während eines Umganges, der immer 18 Secunden in den

später erwähnten Versuchen dauerte. Da sich die berusste Scheibe, auf der die Curven aufgezeichnet wurden, auf der dritten Achse befand, so nahm hier ein Umgang 1,8 Secunden in Anspruch.

Eine ganz vollständige Versuchsreihe musste aus 16 Einzelversuchen bestehen:

1) Man leitete den beständigen und den erregenden Strom aufsteigend ein. Man hielt zunächst die beständige Kette offen und liess eine Curve durch die Erregung der oberen Strecke a b und eine zweite durch die der unteren Strecke e f aufzeichnen. Nun wurde der Schreibstift von der Glasplatte entfernt und der Schlüssel zugedreht. Der elektrotonisirende Strom durchfloss daher die Strecke e d z. B. in aufsteigender Richtung. Die bei dem Schlusse desselben entstehende Zuckung wurde in der Regel nicht aufgezeichnet. Man liess nun wiederum eine Curve durch die Reizung der obern Strecke a b und eine zweite durch die der unteren e f auf der berussten Glastafel einritzen.

Man machte dann dieselben vier Versuche

2) bei aufsteigender Richtung der elektrotonisirenden und bei absteigender der erregenden Kette .

3) bei absteigender Richtung der Ersteren und aufsteigender der Zweiten, endlich

4) bei absteigender jener und bei absteigender dieser Kette.

Die Verfolgung dieser Erscheinungen führt, wie wir sehen werden, zu wesentlichen Unterschieden zwischen den Nerven grosser kräftiger und lebhafter und kleiner Frösche. Die öftere Wiederholung der Reizung kann die Ergebnisse dermassen ändern, dass sie ein Labyrinth von Widersprüchen darzubieten scheinen. Man muss sich daher vor Allem an die erste gelungene Versuchsreihe, die man an einem Exemplare angestellt hat, halten.

Wir wollen die absteigende Richtung des erregenden Stromes, die also in peripherischer Bahn dahingeht, mit p, die aufsteigende, die in centraler verläuft, mit c bezeichnen. Die grossen Buchstaben P und C mögen das Gleiche für die elektrotonisirende Kette anzeigen. o sei die obere Nervenstrecke a b und u die untere e f. Die Einwirkung der beständigen oder elektrotonisirenden Kette wurde durch E angezeigt und zwar P E, wenn der Strom in absteigender und C E, wenn er in aufsteigender Richtung durchfloss.

Wir wollen zuerst zwei vollständige Versuchsreihen betrachten, die an sehr grossen und kräftigen Fröschen angestellt wurden. Die Entfernungen a bis b, b bis c, c bis d, d bis e und e bis f wurden hier zu

nahezu je 5 Millimetern genommen. Die Länge der Muskelmasse des Gastrocnemius betrug 26 Millimeter in dem ersten und 24 in dem zweiten Frosche.

Es ergab sich:

I. Erster Frosch. Belastung 30 Grm.

Versuchsnummer.	Erregende Kette.		Elektrotonisirende Kette.	Wirkung.	
	Stromesrichtung.	Ihrer Wirkung ausgesetzte Nervenstrecke.	Stromesrichtung.	Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.
1	c.	o.		Schwach.	
2	c.	u.		Etwas stärker.	
3	c.	o.	CE.	Sehr starke Schliessungszuckung und noch 4 starke nachfolgende Zuckungen.	
4	c.	u.	CE.	Weit stärker als bei cu und ohne CE.	
5	p.	o.		Schwach.	
6	p.	u.		Weit stärker.	
7	p.	o.	CE.	Stark. Stärker als po ohne CE und niedriger als pu ohne CE, länger anhaltend als po und pu ohne CE.	
8	p.	u.	CE.	Stark. Höher, aber nicht länger als pu oder po ohne CE.	Starke Oeffnungszuckung.
9	p.	o.		Schwach.	
10	p.	u.		Beträchtlich stärker und länger anhaltend als po.	
11	p.	o.	PE.	Stärker und länger anhaltend als bei po ohne PE, aber niedriger und kürzer als bei pu ohne PE.	
12	p.	u.	PE.	Stark und hoch.	Zwei höhere und längere Zuckungen.
13	c.	o.		Ziemlich stark.	
14	c.	u.		Viel stärker und länger als bei co.	
15	c.	o.	PE.	Ausserordentlich stark und lang mit einzelnen Wechselkräupfen.	
16	c.	u.	PE.	Lange anhaltend. Höher als co und niedriger als cu ohne PE.	

II. Zweiter Frosch. Belastung 30 Grm.

17	p.	o.		Mässig.	
18	p.	u.		Weit länger und höher.	
19	p.	o.	PE.	Kaum höher, aber länger als bei po ohne PE.	Schwach.
20	p.	u.	PE.	Stark und lang.	Beträchtlich.

Versuchsnummer.	Erregende Kette.		Elektrotonisirende Kette.	Wirkung.	
	Stromesrichtung.	Ihrer Wirkung ausgesetzte Nervenstrecke.	Stromesrichtung.	Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.
21	c.	o.		Klein.	
22	c.	u.		Etwas höher und beträchtlich länger.	
23	c.	o.	PE.	Sehr schwach.	
24	c.	u.	PE.	Ziemlich stark, niedrig und lang.	
25	c.	o.		Schwach.	
26	c.	u.		Weit höher und länger.	
27	c.	o.	CE.	Weit stärker und länger als bei co ohne CE.	
28	c.	u.	CE.	Beträchtlich stärker und länger als bei cu ohne CE.	
29	p.	o.		Sehr schwach.	
30	p.	u.		Weit stärker und länger.	
31	p.	o.	CE.	Schwach.	
32	p.	u.	CE.	Ungefähr eben so schwach, aber länger als bei pu ohne CE.	

Man kann aus dieser doppelten Versuchsreihe ersehen, dass der Nerv eines kräftigen Frosches in mancher Beziehung andere Wirkungen, als das absterbende Froschpräparat liefert. Man hat für dieses gefunden, dass die Empfänglichkeit mit der Entfernung der Erregungsstelle von dem Muskel wächst. Dieselbe Reizungsgrösse führt daher die geringste Zuckung herbei, wenn sie den untersten Abschnitt des Nerven trifft. Die verzeichneten, an dem lebenden Nerven angestellten Beobachtungen deuten das Gegentheil an. Die reinsten Ergebnisse finden sich in No. 2 und No. 18. Man hatte hier vorher nur die obere Strecke angeregt, so dass noch keine merkliche Veränderung des Nerven vorauszusetzen ist. Die Beständigkeit, mit welcher der Ausschlag zu Gunsten der unteren Nervenstrecke in No. 6, 10, 14, 22, 26 und 30 auftrat, dürfte über die Richtigkeit der Sache kaum einen Zweifel lassen. Die durch den tieferen Nervenabschnitt erregte Zuckung hatte immer eine grössere Hubhöhe, und zugleich eine längere Dauer in vielen, wenn auch nicht in allen Fällen. Man darf übrigens hierbei nicht übersehen, dass wahrscheinlich hin und wieder einzelne Stromesschleifen bis in die Muskelmasse des Wadenmuskels hineinreichten, wenn der untere Nervenabschnitt angesprochen wurde.

Eine zweite ebenfalls deutlich hervortretende Thatsache besteht darin, dass der elektrotonisirende Strom nicht bloss die Erregbarkeit der oberen, sondern auch die der unteren Strecke in dem kräftigen lebenden Nerven erhöhen kann. Dieses erhellt aus No. 3 und 4, No. 7 und 8, No. 11 und 12, No. 15 und 16, No. 19 und 20, No. 27 und 28. Man bemerkt allerdings, dass die obere Strecke in No. 3, No. 15 und 27 im Vorzug ist. Das Uebergewicht traf aber auch die untere in No. 12, No. 20, No. 24 und 32. Die Veränderungen, welche der Nerv durch die Erregung und den Einfluss der elektrotonisirenden Kette erlitten hatte und die Unmöglichkeit, die Abgleichung des ein- und des austretenden elektrischen Stromes in den verschiedenen Versuchen vollkommen übereinstimmen zu lassen, müssen hier zu sehr vorsichtigen Schlüssen auffordern. Allein die Hauptsache, dass eine beiderseitige Erhöhung der Empfänglichkeit durch den beständigen Strom, wie ich ihn brauchte, auftritt, erleidet deswegen keinen Zweifel.

Nimmt man kleine Frösche, so können sie von vorn herein oder nach vorangegangenen erschöpfenden Versuchen Verhältnisse darbieten, welche den Nachtheil der unteren Nervenstrecke klar hervortreten lassen. Man gewinnt dann einzelne Erfahrungen, in denen die untere Nervenstrecke eine schwächere Zuckung hervorruft und der ektrotonisirende Strom nur die Empfänglichkeit der oberen, nicht aber die der unteren Nervenstrecke erhöht oder umgekehrt. Beiderlei Wirkungen treffen nicht immer zusammen. Ich hatte Fälle, in denen die untere Strecke bei blosser Einwirkung der erregenden Kette noch kräftiger als die obere arbeitete, dagegen schon nicht mehr durch die elektrotonisirende in ihrer Leistungsfähigkeit erhöht wurde. Verwirrende Erscheinungen treten in solchen Fällen um so leichter auf, als die wiederholte Reizung und die Elektrolyse des elektrotonisirenden Stromes die Stimmung des Nerven auf eine nicht genau berechenbare Weise ändern.

Nerven die durch vorangehende Erregungen zum Theil erschöpft und verändert worden, können Wirkungen darbieten, in denen sich der Einfluss der Stromesrichtung sichtlich verräth. Ein Beispiel, das einem mittelgrossen Frosche entnommen worden, wird dieses am Besten erläutern. Nur die durch die Erregung der oberen 4 Mm. langen Nervenstrecke erzeugten Wirkungen wurden in diesem Falle aufgezeichnet. Die elektrotonisirte Stelle betrug 6 Mm.

Versuchsnummer.	Erregende Kette. Stromesrichtung.	Elektrotonisirende Kette. Stromesrichtung.	Wirkung.	
			Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.
1	c.		Klein.	
2	c.	CE.	Weit stärker.	
3	p.	PE.	Ziemlich stark.	
4	p.		Etwas stärker.	Stark.
5	c.		Mässig.	
6	c.	CE.	Sehr hoch.	
7	p.		Mässig.	
8	p.	CE.	Noch kleiner.	
9	c.		Klein.	
10	c.	CE.	Etwas grösser.	Beträchtlich.
11	p.	CE.	Klein.	
12	p.		Etwas grösser.	Mässig bis gross.
13	c.		Schwach.	
14	c.	PE.	Nichts.	
15	p.		Schwach.	
16	p.	PE.	Ungefähr eben so stark.	
17	c.		Schwach.	
18	c.	CE.	Stärker.	
19	p.	CE.	Schwach.	
20	p.		Stärker.	
21	p.		Mässig.	Mässig.
22	p.	PE.	Schwächer.	
23	c.		Stark.	
24	c.	PE.	Schwächer.	

No. 2 und 3, No. 6 und 8, No. 10 und 11, No. 18 und 19 und zum Theil No. 14 und 16 lehren, dass der elektrotonisirende Strom in dieser Versuchsreihe nur dann eine Erhöhung der Reizbarkeit herbeiführte, wenn der erregende ihm gleichgerichtet war. Man hatte dagegen eine Erniedrigung bei wechselseitig entgegengesetzten Richtungen beider Ströme. Die Ausnahme, welche No. 22 darbot, kam wahrscheinlich daher, dass zahlreiche vorangegangene Reizungen mit und ohne die elektrotonisirende Kette den Nerven verändert und erschöpft hatten.

Eine Stimmung der Nerventhätigkeit, bei der diese Norm so rein hervortritt, ist mir im Ganzen nur selten begegnet.

Pflüger fand an Froschpräparaten, dass der dem negativen Pole nahe liegende Bezirk der intrapolaren Strecke eine erhöhte Reizbarkeit und der dem positiven Pole benachbarte eine erniedrigte Empfänglichkeit darbietet, dass also hier der Katelektrotonus begünstigend, der Anelektrotonus herabsetzend wirkt. Versuche, die ich an mittelgrossen Fröschen anstellte, bewährten mir das Gleiche in vielen Fällen für das lebende Thier.

Die erregende Kette glich der, welche zu den früheren Versuchen diente. Als beständige wurden nur zwei grössere Zink-Kohlen-Elemente genommen, um nicht die Leistungsfähigkeit des Nerven nach zu kurzer Zeit zu zerstören. Die Hauptanordnung war im Wesentlichen die gleiche, wie in den zuletzt beschriebenen Versuchsreihen. Nur waren die Einstichsnadeln anders vertheilt. Nennen wir sie wiederum der Reihe nach a, b, c, d, e, f, so dass a der obersten und f der untersten entsprach, so waren a und f mit der beständigen Kette verbunden. b und c bildeten die Elektrode für den oberen Nervenbezirk und d und e die für den unteren, wenn man die erregende Kette eingreifen liess. b stand von a und e von f 1 bis $1^1/_2$ Mm., b von e und d von c 2 bis 3 Mm. ab. Man machte wiederum vier Gruppen von je vier Versuchen. Man reizte in jeder dieser Reihen zuerst die obere und dann die untere Nervenstrecke, während die beständige Kette noch offen war, schloss diese und regte dann die untere und hierauf die obere Nervenstrecke oder umgekehrt an. Ich mass hierauf die grösste Hubhöhe der aufgezeichneten Curven und bestimmte auch annähernd die zeitlichen Verhältnisse, wo diese etwas Eigenthümliches darboten.

Wir wollen zwei Versuchsreihen der Art näher betrachten. Die erste betrifft einen Frosch mit unversehrtem und die letzte einen solchen mit zerstörtem Gehirne. Das aufgelegte Gewicht betrug immer 20 Grm., die Länge der erregten und der elektrotonisirten Nervenstrecke 4 Mm. Keine anderweitigen Reizungen gingen diesen Beobachtungen voran.

Erster Frosch.

a. Hüftnerv und Wadenmuskel der rechten Seite.

Versuchsnummer.	Erregende Kette. Stromesrichtung.	Erregende Kette. Ihrer Wirkung ausgesetzte Nervenstrecke.	Elektrotonisirende Kette. Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe der Schliessungszuckung in Millimetern.	Bemerkungen.
1	p.	o.		$4^1/_2$	
2	p.	u.		$2^1/_3$	
3	p.	o.	PE.	$2^1/_3$	Rascher in 2 von dem Maximum der Hubhöhe herabgehend.
4	p.	u.	PE.	Fünf schnell auf einander folgende Zuckungen von den Maximalhöhen $2^1/_2$, 3, $3^3/_4$, $3^1/_4$ und 3.	

Versuchs-nummer	Erregende Kette. Stromesrichtung.	Erregende Kette. Ihrer Wirkung ausgesetzte Nervenstrecke.	Elektrotonisirende Kette. Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe der Schliessungszuckung in Millimetern.	Bemerkungen.
5	c.	o.		$1\frac{1}{3}$	
6	c.	u.		$2\frac{1}{4}$	
7	c.	u.	CE.	Fast Nichts.	
8	c.	o.	CE.	$1\frac{1}{2}$	
9	c.	o.		$1\frac{5}{6}$	
10	c.	u.		1	
11	c.	o.	CE.	$2\frac{1}{8}$	
12	c.	u.	CE.	$1\frac{7}{8}$	Weniger steiles Ansteigen zu dem Maximum als in No. 10.
			b. Hüftnerv und Wadenmuskel der linken Seite.		
13	p.	o.		$1\frac{1}{3}$	
14	p.	u.		$1\frac{1}{8}$	
15	p.	u.	PE.	$1\frac{3}{4}$	
16	p.	o.	PE.	Nichts.	
17	c.	o.		$1\frac{7}{8}$	
18	c.	u.		2	
19	c.	u.	CE.	$2\frac{1}{8}$	
20	c.	o.	CE.	$2\frac{1}{10}$	
21	p.	o.		$1\frac{1}{3}$	
22	p.	u.		$1\frac{1}{2}$	
23	p.	u.	CE.	Nichts.	
24	p.	o.	CE.	$1\frac{9}{10}$	
25	c.	o.		$1\frac{1}{8}$	
26	c.	u.		$1\frac{1}{2}$	
27	c.	u.	PE.	Nichts.	
28	c.	o.	PE.	$1\frac{7}{8}$	
29	c.	u.	PE.	Nichts.	
30	c.	o.	PE.	$1\frac{3}{4}$	
			Zweiter Frosch.		
31	c.	o.		$2\frac{1}{10}$	
32	c.	u.		$3\frac{1}{4}$	Nach 0,3 Secunden schon von dem Maximum beträchtlich herabgegangen.
33	c.	u.	PE.	$3\frac{1}{2}$	Nach 0,3 Secunden ebenfalls schon nachlassend.
34	c.	o.	PE.	Nichts.	
35	c.	o.		$2\frac{2}{3}$	
36	c.	u.		$2\frac{1}{2}$	
37	c.	u.	PE.	$1\frac{1}{2}$	
38	c.	o.	PE.	Nichts.	
39	p.	o.		$4\frac{1}{4}$	
40	p.	u.		$4\frac{1}{4}$	
41	p.	u.	PE.	$4\frac{1}{3}$	Nach 0,5 Secunden eine zweite maximale Hubhöhe von $3\frac{1}{2}$.

Versuchsnummer.	Erregende Kette. Stromesrichtung.	Erregende Kette. Ihrer Wirkung ausgesetzte Nervenstrecke.	Elektrotonisirende Kette. Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe der Schliessungszuckung in Millimetern.	Bemerkungen.
42	p.	o.	PE.	3	
43	c.	o.		$2^1/_3$	
44	c.	u.		$1^1/_8$	
45	c.	u.	CE.	1	
46	c.	o.	CE.	$2^1/_{10}$	
47	p.	o.		$2^1/_3$	
48	p.	u.		$2^2/_5$	
49	p.	u.	CE.	$1^1/_3$	
50	p.	o.	CE.	$2^1/_2$	Nach 0,25 Secunde noch zwei Erhebungen von je $2^1/_3$.

Man sieht aus dieser Tabelle, dass der begünstigende Einfluss der der negativen Austrittsstelle des Stromes benachbarten intrapolaren Nervenstrecke und die entgegengesetzte Wirkungsweise derjenigen, welche der positiven Eintrittsstelle unterliegt, in den meisten Fällen deutlich hervortritt. Mit einem Worte der Katelektrotonus wirkte auch in diesen an den lebenden Nerven angestellten Versuchen in der Mehrzahl der Fälle unterstützend und der Anelektrotonus entgegentretend. Ich sage absichtlich nicht erhöhend und herabsetzend, weil diese Art von Einfluss nicht immer vorkommt. Man hatte nämlich z. B. in den angeführten Beobachtungen folgende Verhältnisse:

1. Verglich man das Maximum der Zusammenziehung ohne und mit der Wirkung der elektrotonisirenden Kette, so zeigte sich, dass die grösste Hubhöhe beträchtlicher nach der Seite des negativen Poles der intrapolaren Strecke ausfiel, als sie zu Stande kam, wenn man die gleiche Nervenstrecke ohne die elektrotonisirende Kette ansprach. Der Vergleich beider Fälle ergab das Umgekehrte für die Nachbarschaft des positiven Poles der intrapolaren Strecke. Der Katelektrotonus wirkte mit einem Worte wahrhaft erhöhend und der Anelektrotonus wahrhaft erniedrigend. Man hatte dieses z. B. in No. 7 und 8, No. 23 und 24, No. 33 und 34, No. 49 und 50.

2. Der Anelektrotonus setzte herab und der Katelektrotonus lies nahezu die frühere Maximalhöhe bestehen. No. 45 und 46.

3. Man erhielt kleinere Hubhöhen bei der gleichzeitigen Wirkung der elektrotonisirenden Kette, als ohne den Einfluss derselben. Allein der Unterschied von Anelektrotonus und Katelektrotonus verrieth

sich wiederum dadurch, das jener die Wirkung herabsetzte oder gänzlich hemmte und dieser dieselbe als eine gewisse nicht vergrösserte Hubhöhe zum Vorschein kommen liess. No. 2 und 3, No. 15 und 16, No. 41 und 42 und No. 37 und 38.

4. Beide, der Katelektrotonus und der Anelektrotonus wirkten verstärkend, aber der Erstere mehr als der Letztere. No. 11 und 12, No. 19 und 20.

5. Man hatte endlich den der gewöhnlichen Norm entgegengesetzten Fall, dass der Katelektrotonus hemmte und der Anelektrotonus erhöhte. No. 27, 28, 29, 30. Da mich dieses Ergebniss befremdete, so wiederholte ich den Doppelversuch. Ich erhielt dabei dasselbe Ergebniss, als früher.

Lassen wir diesen letzten eigenthümlichen Fall als Ausnahme gelten, so ergab sich als Regel, dass im Allgemeinen der Katelektrotonus des intrapolaren Bezirkes auch im lebenden Nerven begünstigend und der Anelektrotonus entgegengesetzt wirkt. Der Einfluss kann absolut sein, so dass die Hubhöhe grösser oder kleiner wird, als sie unter gleichem Verhältnisse ohne die elektrotonisirende Kette war. Oder er erscheint nur relativ, indem der Katelektrotonus eine Wirkung innerhalb gewisser Grenzen zu Stande kommen lässt, welche der Anelektrotonus auf niedere Grenzen oder Null zurückführt. Bedenkt man, dass schon die ersten Versuche, die man an lebenden mittelgrossen Fröschen anstellte, wie No. 3 und 4 und No. 33 und 34 die begünstigende Wirkung des Katelektrotonus und die entgegengesetzte des Anelektrotonus der intrapolaren Strecke zeigten, so kann die Richtigkeit der Norm für den vollen lebenden Zustand mittlerer Frösche keinem gerechten Zweifel unterworfen werden.

Wir haben S. 70 gesehen, dass sehr lebenskräftige und grosse Frösche eine erhöhende Wirkung der extrapolaren Strecke nicht bloss für den Katelektrotonus, sondern auch für den Anelektrotonus liefern. Es lag die Vermuthung nahe, dass der gleiche Fall für die intrapolare Strecke vorkommt und auch hier den Ausdruck der grössten Lebenskräftigkeit bildet. Die Erfahrung bestätigte diese Auffassungsweise. Ein sehr grosser frisch eingefangener Frosch lieferte z. B.

Versuchsnummer.	Erregende Kette.		Elektrotonisirende Kette.	Grösste Hubhöhe in Millimetern.		Bemerkungen.
	Stromesrichtung.	Ihrer Wirkung ausgesetzte Nervenstrecke.	Stromesrichtung.	Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	
1	p.	o.		$3^2/_3$	$3^2/_3$	Ganz frisch.
2	p.	u.		$3^1/_3$	$3^2/_3$	
3	p.	u.	PE.	$4^2/_3$	$2^1/_2$	
4	p.	o.	PE.	$3^4/_5$	$3^2/_3$	
5	c.	o.		$3^1/_{10}$	Nichts.	
6	c.	u.		3	$2^2/_3$	
7	c.	u.	PE.	$3^9/_{10}$	$2^1/_{10}$	
8	c.	o.	PE.	$4^1/_2$	$2^9/_{10}$	
9	c.	o.		$3^1/_3$	2	Nach einer Stunde Ruhe.
10	c.	u.		$4^9/_{10}$	$2^9/_{10}$	
11	c.	u.	CE.	5	$4^4/_5$	
12	c.	o.	CE.	Sehr gering.	Fast Nichts.	
13	p.	o.		$3^2/_3$		
14	p.	u.		2		
15	p.	u.	CE.	$1^3/_4$		
16	p.	o.	CE.	1		

Die erste an dem kräftigen Thiere angestellte Versuchsreihe gab also eine beiderseitige Erhöhung der Schliessungszuckung durch den intrapolaren Elektrotonus. Die Oeffnungszuckung, deren Verhältnisse mit den Modificationserscheinungen, wie wir gesehen haben, innig zusammenhängen, war an der anelektrotonischen Seite vergrössert und an der katelektrotonischen herabgesetzt. Eine Stunde später, während der zum Theil blossgelegte Wadenmuskel unzweifelhaft bedeutend gelitten hatte, zeigte sich eine Erhöhung auf der katelektrotonischen und eine Abnahme auf der anelektrotonischen Seite, wenn der erregende und der elektrotonisirende Strom aufsteigend gerichtet waren. Blieb aber der Letztere unverändert, während der Erstere absteigend dahinging, so hatte man eine beiderseitige Abnahme. Man sieht, dass hier der gleiche Fall, den wir schon bei der Prüfung der extrapolaren Strecken antrafen, wiederkehrte, dass die Erhöhung nur dann eintrat, wenn die erregende und die elektrotonisirende Kette gleichgerichtet waren.

Stellen wir uns diejenigen Fälle zusammen, in denen der untere Nervenbezirk eine grössere maximale Hubhöhe hervorrief, als der obere, wenn die elektrotonisirende Kette offen blieb, so stimmen No. 5, No. 18, No. 26 und No. 31 der vorletzten S. 73 verzeichneten Tabelle darin überein, dass hier immer ein aufsteigender Strom der erregenden Kette eingriff. Die grössere durch die obere Nerven-

strecke erzeugte Hubhöhe kam bei aufsteigendem, wie bei absteigendem Strome vor. Man hatte das Erstere in No. 9, No. 35 und No. 43 und das Letztere in No. 1 und No. 13. Es ergiebt sich hieraus, dass die kraftvollere Wirkung der oberen oder der unteren Nervenstrecke nicht ausschliesslich von der Stromesrichtung der erregenden Kette abhängt. Ich machte noch eine Versuchsreihe, bei der ich auch die Zeiten zu bestimmen suchte, um zu sehen, ob auch diese, wie die Hubhöhen steigen und sinken. Es fand sich dabei zufällig, dass die seltene Norm No. 2, S. 74 Geltung hatte.

Versuchsnummer	Erregende Kette: Stromesrichtung.	Erregende Kette: Ihrer Wirkung ausgesetzte Nervenstrecke.	Elektrotonisirende Kette. Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe in Millimetern: Oeffnungszuckung.	Grösste Hubhöhe in Millimetern: Schliessungszuckung.	Dauer in Secunden. Schliessungszuckung: Ansteigen von Null bis zum Maximum.	Schliessungszuckung: Erschlaffung.	Schliessungszuckung: Gesammtzuckung.	Oeffnungszuckung: Ansteigen von Null bis zum Maximum.	Oeffnungszuckung: Erschlaffung.	Oeffnungszuckung: Gesammtzuckung.
1	e.	o.		3 1/5	Nichts.	0,13					
2	e.	u.		4 9/10	3 1/10	0,10	0,60	0,70	0,18	0,42	0,60
3	e.	u.	CE.	4 9/10	2	0,12	0,52	0,64	0,06	0,14	0,20
4	e.	o.	CE.	1 4/5	Sehr klein.	0,06	0,44	0,50			

Eine Vergrösserung der Hubhöhen wird nicht nothwendiger Weise von einer Verlängerung der Zuckungsdauer begleitet.

Alle bisher erwähnten Beobachtungen sind mit hydroelektrischen Strömen angestellt worden. Einige Versuche, die ich mit dem Magnetelektromotor machte, führten zu dem Ergebnisse, dass der durch die kräftigen entgegengesetzt gerichteten Schläge misshandelte lebende Nerv mittelgrosser Frösche Ergebnisse liefern kann, die von den bisher dargestellten abweichen. Die Versuchsanordnung glich den früheren. Nur ging die Elektrode, die dem positiven Pole der erregenden Kette angehörte, zu dem einen Ende der indueirenden Spirale des Magnetelektromotors. Das andere Ende derselben entliess den Draht, der mit der nicht isolirten Klemme des Uhrwerkes verbunden war. Ein Zwischendrath verband die beiden Quecksilbergefässe, in welchen früher die Elektroden der Nervenstrecke tauchten. Das Hammerwerk des Magnetelektromotors begann sogleich von selbst zu spielen, so wie die erregende Kette geschlossen war. Es ging aber nur die vier oder fünf Secunden, während deren der an

der zweiten Achse des Uhrwerkes haftende Stahlstift den Quecksilbertropfen durchschnitt.

Versuche, die ich in Betreff der extrapolaren Strecke an mittelgrossen Fröschen mit der S. 65 erwähnten Anordnung anstellte, ergaben bei einem Auflagsgewichte von 10 Grm. und einer Länge von je 4 Mm. für die einzelnen Nervenstrecken:

Erster Frosch.

Hüftnerv und Wadenmuskel der rechten Seite.

Versuchs-nummer.	Wirkungsbezirk des Magnetelektromotors.	Elektrotonisirende Kette. Stromesrichtung.	Grösste Zusammenziehung während der ersten 1,8 Secunden in Millimetern.	Bemerkungen.
1	o.		Ziemlich stark.	
2	u.		Schwächer.	
3	o.	CE.	Nichts.	
4	u.	CE.	Etwas stärker, als u allein.	
5	o.		Ziemlich stark.	
6	u.		Hubhöhe ein wenig höher.	
7	o.	PE.	Etwas grösser als o allein.	
8	u.	PE.	Fast Nichts.	

Hüftnerv und Wadenmuskel der linken Seite.

9	o.		Stark.	
10	u.		Schwach.	
11	o.	CE.	4 bis 5 Mal so stark als o allein.	
12	u.	CE.	Sehr schwach und bei Wiederholung Nichts.	

Zweiter Frosch.

a. Hüftnerv und Wadenmuskel der rechten Seite.

13	o.		Schwach.	
14	u.		Noch schwächer.	
15	u.	CE.	Stärker.	
16	o.	CE.	Nichts.	

b. Hüftnerv und Wadenmuskel der linken Seite.

17	o.		$6\frac{1}{2}$	Die Zahlen bedeuten die in Millimetern ausgedrückten maximalen Hubhöhen, die fast gleich hoch 1,8 Secunden anhielten.
18	u.		4	
19	u.	CE.	$4\frac{1}{2}$	
20	o.	CE.	$4\frac{1}{4}$	

Dritter Frosch.

Versuchs-nummer.	Wirkungs-bezirk des Magnetelek-tromotors.	Elektrotoni-sirende Kette. Stromes-richtung.	Grösste Zusammenziehung während der ersten 1,8 Secunden in Millimetern.	Bemerkungen.
21	o.		$3\frac{7}{8}$	
22	u.		4	
23	u.	CE.	$4\frac{1}{4}$	
24	o.	CE.	$4\frac{3}{4}$	

Vierter Frosch.

25	o.		$3\frac{1}{2}$	
26	u.		$2\frac{1}{2}$	
27	u.	CE.	2	
28	o.	CE.	$1\frac{1}{3}$	
29	o.		$1\frac{1}{4}$	
30	u.		$1\frac{1}{3}$	
31	u.	CE.	$\frac{3}{4}$	
32	o.	CE.	Kein $\frac{1}{10}$	

Fünfter Frosch.

a. Hüftnerv und Wadenmuskel der rechten Seite.

33	o.		$3\frac{1}{10}$	
34	u.		$2\frac{1}{2}$	
35	u.	PE.	4	
36	o.	PE.	$3\frac{2}{3}$	Sehr langsam ansteigend, so dass die maximale Hubhöhe erst nach 1,1 Secunde erreicht wurde.
37	o.		$2\frac{1}{4}$	
38	u.		$1\frac{2}{3}$	
39	u.	CE.	$1\frac{9}{10}$	
40	o.	CE.	Kein $\frac{1}{10}$	

b. Hüftnerv und Wadenmuskel der linken Seite.

41	o.		$3\frac{9}{10}$	
42	u.		2	
43	u.	CE.	$4\frac{1}{8}$	
44	o.	CE.	$3\frac{1}{4}$	
45	o.		$1\frac{2}{3}$	
46	u.		2	
47	u.	PE.	$1\frac{1}{3}$	
48	o.	PE.	$1\frac{7}{8}$	

Vergleicht man den extrapolaren katelektrotonischen Bezirk mit dem anelektrotonischen, so ergibt sich, dass sich die Einflüsse beider in vier Klassen theilen lassen:

1. Das katelektrotonische Stück des Nerven wirkte, wie bei den Kettenströmen erhöhend und das anelektrotonische erniedrigend.

Dieses kam nur selten, nämlich in dem Versuchspaare No. 11 und 12 vor.

2. Die Beobachtungen No. 23 und 24, No. 35 und 36 und No. 43 und 44 schliessen sich insofern an, als eine Vergrösserung des Ausschlages während der Thätigkeit der elektrotonisirenden Kette oben und unten eintrat, jene aber auf der katelektrotonischen Seite beträchtlicher, als auf der anelektrotonischen ausfiel.

3. Die Mehrzahl der Fälle lieferte die Eigenthümlichkeit, dass die Erregung der anelektrotonischen extrapolaren Abtheilung des Nerven die Verkürzung während des Elektrotonus des Mittelstückes zunehmen und die katelektrotonische dieselbe abnehmen liess, der Strom der beständigen Kette mochte auf- oder absteigend gerichtet sein. Wir haben diesen Fall in No. 3 und 4, No. 7 und 8, No. 15 und 16, No. 19 und 20, No. 31 und 32, No. 39 und 40, No. 47 und 48.

4. Eine Abänderung dieser Norm besteht darin, dass der elektrotonisirende Strom die Wirkung der oberen und der unteren Nervenstrecke herabsetzte, dieses sich aber für die katelektrotonische Seite weniger, als für die anelektrotonische geltend machte. No. 27 und 28.

Man sieht hieraus, dass die Erregung des lebenden Nerven durch die Schläge des Magnetelektromotors und die gleichzeitige Einwirkung eines elektrotonisirenden Stromes die den Kettenströmen entgegengesetzte Norm in der Mehrzahl der Fälle geliefert hat. Die Erhöhung zeigte sich auf Seite der anelektrotonischen und die Erniedrigung auf der katelektrotonischen Abtheilung.

Es handelte sich nun zunächst, zu prüfen, ob das Gleiche für die intrapolare Strecke wiederkehrt. Die Versuchsanordnung blieb dieselbe. Man stach nur in die Gegend des Verlaufes des Oberschenkeltheiles des Hüftnerven je zwei um wechselseitig vier Millimeter entfernte Nadelpaare, bei denen die zweite Nadel drei Millimeter von der oberen abstand, ein. Die eine Elektrodennadel der beständigen Kette wurde zwei bis drei oder vier Millimeter oberhalb der ersten und die andere eben so weit unterhalb der letzten Nadel der erregenden Kette befestigt. Der Magnetelektromotor spielte wiederum ungefähr vier Secunden während eines 18 Secunden anhaltenden Umganges des den Quecksilbertropfen durchschneidenden Stiftes. Diese Versuchsanordnung lieferte:

Erster Frosch.

Versuchsnummer.	Wirkungsbezirk des Magnetelektromotors.	Elektrotonisirende Kette. Stromesrichtung.	Grösste Zusammenziehung während der ersten 1,8 Secunden in Millimetern.	Bemerkungen.
1	o.		$1^2/_5$	
2	u.		$2^4/_5$	
3	u.	CE.	$3^1/_8$	
4	o.	CE.	$3^1/_8$	Noch eine zweite Zuckung nach ungefähr $^1/_3$ Secunde.

Zweiter Frosch.

a. Hüftnerv und Wadenmuskel der rechten Seite.

5	o.		$4^1/_2$
6	u.		$3^9/_{10}$
7	u.	PE.	$3^5/_6$
8	o.	PE.	$3^1/_2$
9	o.		1
10	u.		$2^1/_3$
11	u.	CE.	$2^2/_5$
12	o.	CE.	Nicht $^1/_{10}$

b. Hüftnerv und Wadenmuskel der linken Seite.

13	o.		$2^1/_{10}$
14	u.		$3^3/_4$
15	u.	CE.	2
16	o.	CE.	$2^7/_8$
17	o.		$2^1/_4$
18	u.		2
19	u.	CE.	Kaum $^1/_{10}$
20	o.	CE.	$1^1/_3$
21	o.		1
22	u.		$1^1/_3$
23	u.	PE.	1
24	o.	PE.	$^1/_4$

Beide entgegengesetzte Fälle können hiernach wiederum bei der Prüfung der intrapolaren Strecke vorkommen.

1. Die katelektrotonische Abtheilung erhöhte in No. 3 und 4 die Wirkung mehr, als die anelektrotonische.

2. Die katelektrotonische setzte die Hubhöhe weniger als die anelektrotonische herab. No. 7 und 8, No. 19 und 20, No. 23 und 24, oder diese erniedrigte und jene erhöhte sie. No. 15 und 16.

3. Der anelektrotonische Abschnitt übernahm die erhöhende und der katelektrotonische die erniedrigende Wirkung. No. 11 und 12.

Da der Indifferenzpunkt der interpolaren Strecke nicht in der Mitte der Länge derselben liegt und sich die Empfänglichkeit von

hier aus nach beiden Seiten ändert, so wird es von wesentlichem Einflusse für die Ergebnisse sein, wo die obere und wo die untere erregte intrapolare Nervenstrecke liegt. Die Versuche müssen noch mit Rücksicht auf diesen Punkt häufiger wiederholt werden, als ich es gethan. So viel ist aber gewiss, dass es auch hier von den Nebenbedingungen abhängt, ob der katelektrotonische oder der anelektrotonische Abschnitt den grösseren Werth für das Maximum der Hubhöhe liefert.

Der Vorzug, den die anelektrotonische Abtheilung gegenüber der katelektrotonischen in der Mehrzahl der extrapolaren und in der Minderzahl der intrapolaren Versuche darbot, konnte von zweierlei Ursachen herrühren, nämlich von der Eigenthümlichkeit der Inductionsströme oder von den rasch sich wiederholenden, entgegengesetzt gerichteten Schlägen, welche der Magnetelektromotor ertheilt. Die letztere Annahme hatte eine geringere Wahrscheinlichkeit. Um zu verhüten, dass nicht ein etwa vorhandenes einseitiges Vorherrschen der beiden entgegengesetzten Stromesrichtungen zu Täuschungen führe, wechselte ich häufig die Stromesrichtung der den Magnetelektromotor treibenden erregenden Kette in den einzelnen Versuchen, ohne dass sich die Ergebnisse sichtlich änderten. Da der Magnetelektromotor nur ungefähr vier Secunden in jeder Beobachtung ging, so konnte keine wesentliche Ermüdung eingreifen. Dieses zeigt sich auch dadurch, dass die Hubhöhen in späteren Versuchen gross blieben, und selbst nach kurzer Erholungszeit wiederum zunahmen. Die elektrotonisirende Kette, deren irgend langer Schluss die Leistungsfähigkeit der Nerven nicht selten zerstörte, wirkte in dieser Hinsicht weit nachtheiliger ein.

Ich stellte noch einige Versuche über Inductionsströme der Vollständigkeit wegen an. Die Anordnung in dem Kreise und die Vertheilung der Nadeln in dem Oberschenkel des Thieres blieben die gleichen wie früher. Man hemmte aber das Hammerwerk des Magnetelektromotors, so dass ein Schliessungsschlag zum Vorschein kam, so wie der Stahlstift bei der Bewegung des Uhrwerkes in das Quecksilber eintrat und ein Oeffnungsschlag, so wie er dasselbe verliess. Ein mittelgrosser Frosch gab dann:

a. Hüftnerv und Wadenmuskel der rechten Seite. Extrapolar.

Versuchs-nummer.	Wirkungs-bezirk des Inductions-stromes.	Elektrotoni-sirende Kette. Stromes-richtung.	Grösste Zusammenziehung während der ersten 1,8 Secunden in Millimetern.	
			Schliessung.	Oeffnung.
1	o.		$1\frac{2}{5}$	
2	u.		1	2
3	u.	PE.	1	$1\frac{7}{8}$
4	o.	PE.	3	$3\frac{1}{8}$
5	o.		$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{8}$
6	u.		$2\frac{1}{3}$	$2\frac{2}{3}$
7	u.	CE.	$2\frac{1}{10}$	$2\frac{5}{6}$
8	o.	CE.	$2\frac{9}{10}$ aber schon nach $\frac{1}{20}$ Secunde auf $\frac{1}{3}$ herabgegangen.	2

b. Hüftnerv und Wadenmuskel der linken Seite. Intrapolar.

9	o.		$1\frac{1}{10}$	$1\frac{7}{8}$
10	u.		$1\frac{1}{2}$	$1\frac{9}{10}$
11	u	CE.	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$
12	o.	CE.	$1\frac{1}{10}$	$1\frac{1}{4}$
13	o.		$\frac{1}{10}$	$1\frac{1}{15}$
14	u.		2	$2\frac{1}{3}$
15	u.	PE.	$2\frac{3}{5}$	$3\frac{1}{10}$
16	o.	PE.	$2\frac{3}{4}$	3

Die an den extrapolaren Strecken des Nerven angestellte Versuchsreihe lieferte wiederum die beiden entgegengesetzten Fälle. No. 3 und 4 zeigte die Eigenthümlichkeit, dass die grösste Hubhöhe bei der Anregung der anelektrotonischen, nicht aber bei der der katelektrotonischen auftrat. No. 7 und 8 lieferte aber das Gegentheil. Eben so gesellen sich No. 11 und 12 der intrapolaren Versuchsreihe zu dieser letzteren Kategorie, während No. 15 und 16 den Fall darbietet, dass sowohl der katelektrotonische als der anelektrotonische Bezirk nach der Einschaltung der beständigen Kette erhöhend wirkten, und zwar der anelektrotonische mehr als der katelektrotonische. Man sieht zugleich dass die Vergrösserung oder die Verminderung sowohl bei der Schliessung als bei der Oeffnung des Inductionsstromes einzugreifen pflegt.

Es kann nach dem Dargestellten nicht bezweifelt werden, dass die bei dem Gebrauche des Magnetelektromotors mir häufig vorgekommene Erscheinung, dass nicht der katelektrotonische, sondern der anelektrotonische Bezirk erhöhend wirkt, von den Inductionsströmen herrührt. Die beträchtliche Stärke der gebrauchten Ströme

und die rasche und mithin steile Abgleichung derselben gegenüber den hydroelektrischen Kettenströmen bildet wahrscheinlich die Hauptursache der Eigenthümlichkeit.

Aenderte ich die Stärke der Inductionsströme des Magnetelektromotors durch die Entfernung oder die Annäherung der inducirenden und der inducirten Rolle, so ergab sich, dass derselbe beständig durchfliessende Strom, der für schwächere Erregung hemmt, für stärkere erhöhend oder erniedrigend wirken kann. Man hatte z. B.

Versuchsnummer.	Wirkungsbezirk des Magnetelektromotors.	Rollenabstand in Centimetern.	Elektrotonisirende Kette. Stromesrichtung.	Grösste Zusammenziehung während der ersten 1,8 Secnnden in Millimetern.
1	o.	10		$3^1/_{10}$
2	u.	10		$4^1/_{10}$
3	u.	10	CE.	Nichts.
4	u.	10		$4^1/_{10}$
5	u.	10	CE.	Nichts.
6	u.	10		5
7	o.	10	CE.	Nichts.
8	o.	10	CE.	Nichts.
9	o.	10		$3^9/_{10}$
10	o.	10	CE.	Nichts.
11	o.	10		$3^9/_{10}$
12	o.	Die Rollen		3
13	u.	einander eben		$3^2/_5$
14	u.	berührend.	PE.	$3^1/_5$
15	o.		PE.	2
16	o.			$3^2/_5$
17	u.			$3^1/_3$
18	u.		PE.	$2^2/_5$
19	o.		PE.	$2^1/_5$
20	o.			$2^2/_3$
21	o.	3		$1^1/_4$
22	o.	3	PE.	$2^1/_3$
23	u.	3		$2^1/_{10}$
24	u.	3	PE.	Nichts.
25	u.	3	PE.	Nichts.
26	u.	3		$1^1/_{10}$

Die Betrachtung des Rückenmarkes wird uns zu ähnlichen Erscheinungen zurückführen.

Diese Studienreihe lehrte:

1. Arbeitet man mit hydroelektrischen oder mit Inductionsströmen, so begegnet man häufig dem Falle, dass eine beträchtlichere grössere Hubhöhe zu Stande kommt, wenn man den dem Muskel näheren Abschnitt des lebenden Nerven, als wenn man den entfernteren anspricht.

2. Hydroelektrische Ströme und grosse kräftige Frösche können bei dem Gebrauche einer passenden elektrotonisirenden Kette zeigen, dass sowohl der katelektrotonische, als der anelektrotonische extrapolare Bezirk erhöhend wirkt. Budge [1]) bemerkte schon das Gleiche an Froschpräparaten, wenn er den beständigen Strom zwischen der Reizungsstelle und dem Muskel in absteigender Richtung anbrachte.

3. Nimmt man mittelgrosse, minder kräftige Frösche, so stösst man in der Regel auf den auch in den galvanischen Froschpräparaten hervortretenden Fall, dass der katelektrotonische extrapolare Bezirk erhöhend, der anelektrotonische erniedrigend wirkt.

4. Lebende Nerven, die schon durch vorangehende elektrische Erregungen misshandelt worden, können in seltenen Fällen die Erscheinung darbieten, dass der elektrotonisirende Strom nur dann die Empfänglichkeit vergrössert, wenn er mit dem erregenden gleichgerichtet ist. Dieser Fall wurde sowohl bei der Prüfung extrapolarer, als bei der intrapolarer Strecken beobachtet.

5. Die intrapolare Strecke zeigt ebenfalls für hydroelektrische Ströme, dass der Katelektrotonus begünstigend und der Anelektrotonus herabsetzend wirkt, wenn man Ketten von passender Stärke und mittelgrosse Frösche gebraucht. Das Gegentheil wurde nur als einzelne seltene Ausnahme bemerkt. Grosse kräftige Frösche können auch hier eine Erhöhung nach beiden Seiten darbieten.

6. Bedient man sich des Magnetelektromotors zur Anregung des lebenden Nerven mittelgrosser Frösche, so sieht man sehr häufig, dass die extrapolare katelektrotonische Strecke herabsetzt und die anelektrotonische erhöht. Man kann bisweilen etwas ähnliches in Betreff der intrapolaren Strecke beobachten. Die den Normen der hydroelektrischen Ströme entsprechenden und daher entgegengesetzten Verhältnisse zeigen sich aber auch hin und wieder für die extrapolare oder die intrapolare Strecke.

7. Ein einzelner instantaner Inductionsschlag kann dieselbe Anomalie in Vergleich mit der Wirkungsweise der hydroelektrischen Ströme darbieten. Die steile Abgleichungscurve der starken Inductionsschläge spielt hier vermuthlich die Hauptrolle.

Die weitere und genauere Verfolgung dieses Gegenstandes dürfte zu wichtigen Ergebnissen führen. Gelänge es die hier eingreifenden

[1]) J. Budge, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Achte Auflage S. 683. Vgl. auch C. Boruttau Contractiones musculorum illae, quae post aquae injectionem observantur, num nervorum irritatione efficiantur an musculorum ipsorum? Regiomonti 1862. 8. p. 21.

Hauptgesetze aufzufinden, so hätte man in dem elektrotonisirenden Strome ein feines Hülfsmittel, die augenblicklichen Stimmungszustände des lebenden Nerven, deren Beschaffenheit sonst nicht anzugeben ist, näher festzustellen.

§. 7. Die Reizung des Rückenmarkes.

Ich zerstörte in der Regel das Gehirn der zu diesen Versuchen dienenden Frösche mit einer Nadel, um auf diese Weise jeden grösseren Blutverlust und jede Durchschneidung des Rückenmarkes oder des verlängerten Markes zu vermeiden. Man stach dann die an den Enden der Elektroden befestigten amalgamirten Nadeln zu den beiden Seiten der Wirbelsäule ein. Dieses Verfahren hatte den Nachtheil, dass die zwischen den Einstichsstellen dahingehenden elektrischen Strombahnen zugleich andere Theile durchsetzten. Man arbeitete aber dafür mit einem durch keine vorangegangene Blosslegung oder andere Eingriffe veränderten Rückenmarke.

Hat man die zwei Nadeln zu beiden Seiten der Wirbelsäule an einer beliebigen Stelle zwischen dem ersten oder zweiten, bis vierten oder fünften Wirbel eingestochen, so dass der kürzeste hydroelektrische Kettenstrom senkrecht auf die Längsachse des Rückenmarkes durchgeht, so überzeugt man sich, dass auch hier das Zuckungsgesetz des lebenden Nerven gilt. Man hat nur eine Schliessungszuckung und keine Oeffnungszuckung bei geringen und mässigen Stromstärken, eine stärkere Schliessungs- und eine schwächere Oeffnungszuckung bei beträchtlichen und beide Wirkungen ziemlich gleich stark bei noch kräftigeren elektrischen Erregungen.

Lässt man den Querstrom abwechselnd durch eine höhere und eine tiefere Stelle des Rückenmarkes gehen, so findet man, dass in der Regel diejenigen Theile, deren Bewegungsnerven in der unmittelbaren Nachbarschaft der Reizungsstelle aus dem Rückenmarke treten, leichter zucken, als die, deren Nerven entfernter entspringen. Man kann den Unterschied durch einen anschaulichen Collegienversuch klar machen. Sticht man zwei Nadeln zu beiden Seiten des dritten bis vierten und zwei andere zu denen des fünften Wirbels ein und verstärkt den Kettenstrom immer mehr, so wird man zu einer Stufe der Abgleichung gelangen, bei welcher die Muskeln der Hinterbeine nur eine Schliessungs-, die der oberen Hälfte der Bauchdecken dagegen überdiess noch eine Oeffnungszuckung darbieten. Die leichte Erschöpfung des Rückenmarkes durch die Wirkung

elektrischer Ströme oder andere bisweilen nicht angebbare Ursachen können übrigens auch Ausnahmen von der allgemeinen Regel herbeiführen.

Man vermag noch durch dieses Verfahren darzuthun, dass ein starker das Rückenmark quer durchsetzender Strom den Durchgang der Erregung hindert. Ich stach z. B. zwei mit dem Magnetelektromotor zu verbindende Nadeln zu beiden Seiten des zweiten, zwei mit der elektrotonisirenden aus den oben erwähnten drei grossen Zinkkohlenelcmenten bestehenden Kette vereinigte Nadeln zu beiden Seiten des vierten und zwei andere mit dem Magnetelektromotor zusammenhängende zu den zwei Seiten des sechsten Wirbels ein. Ich ging nicht tiefer hinab, um sicher zu sein, dass nicht Stromesschleifen den aus dem siebenten Rückenmarksnerven kommenden obersten Ast des Hüftgeflechtes (N. inguinalis) unmittelbar durchsetzten. Wurde der Magnetelektromotor wie früher für je vier Secunden durch das Uhrwerk geschlossen, so ergab sich:

Gereizte Stelle des Rückenmarkes		Elektrotonisirende Kette.	Grösste Hubhöhe während 1,8 Sec. in Millimetern.
obere	untere.		
o.		Unthätig.	$2\frac{1}{3}$
	u.	Unthätig.	$2\frac{1}{3}$
	u.	Thätig.	$1\frac{1}{3}$
o.		Thätig.	$\frac{1}{4}$

Man sieht, dass die durch den Elektrotonus bedingte verhältnissmässig starke Hemmung die Wirkung der oberen Rückenmarksstelle weit mehr, als die der unteren herabsetzte. Kräftige Ströme, wie ich sie hier gebrauchte, schaden übrigens so nachdrücklich, dass die obere Stelle nicht selten bald darauf keine Zusammenziehung hervorruft, wenn man selbst die elektrotonisirende Kette geöffnet hat.

Ich machte auch einige Versuche, um die Einflüsse des Katelektrotonus und des Anelektrotonus des Rückenmarks kennen zu lernen. Da es sich hierbei um die Wirkungen der Pole handelte, so durfte man natürlich die Ströme nicht quer durch das Rückenmark leiten, sondern musste sie der Länge nach durchzuführen suchen. Nun wollte ich natürlich nicht das Rückenmark selbst durchstechen. Ich führte daher die Nadeln an einer Seite neben der Wirbelsäule ein. Zwei oberste a und b, die für die Erregung der oberen Rückenmarksstelle bestimmt waren, wurden neben dem zweiten und dritten, zwei mittlere c und d, für die elektrotonisirende

Kette neben dem dritten und vierten und zwei untere e und f für die Reizung der unteren Rückenmarksstelle bestimmte Nadeln neben dem fünften und sechsten Wirbel eingestochen. Ich ging nicht tiefer hinab, um sicher zu sein, dass nicht Stromesschleifen zu dem Hüftgeflechte selbst, dessen oberster Nerv bei dem siebenten Wirbel dahin geht, gelangen könnten. Es ergiebt sich übrigens von selbst, dass nur die das Rückenmark durchsetzenden Hauptströme der erregenden und der elektrotonisirenden Kette getrennt waren, die Nebenströme dagegen sich wahrscheinlich bei der Kleinheit des zu Gebote stehenden Raumes mannigfach durchkreuzten.

Wir wollen wiederum einige Versuchsreihen näher betrachten. Da das Rückenmark der gebrauchten mittelgrossen Frösche auf schwache hydroelektrische Ströme gar nicht oder nur unbedeutend reagirte, so nahm ich eine kleine aus zehn Elementen bestehende Zink-Kohlenbatterie, die mit verdünnter Schwefelsäure geladen war, als erregende Kette für die definitiven Versuche. Die Elektroden für die obere und für die untere Rückenmarksstrecke und die der elektrotonisirenden Kette standen um je 4 Millimeter wechselseitig ab. Das aufgelegte Gewicht betrug 10 Grm.

Erster Frosch.

Versuchsnummer.	Erregender Strom.		Elektrotonisirende Kette.	Grösste Hubhöhe in den ersten 1,8 Secunden in Millimetern.		Bemerkungen.
	Richtung desselben.	Seiner Wirkung ausgesetzte Strecke des Rückenmarkes.	Stromesrichtung.	Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	
1	p.	o.		4		
2	p.	u.		$1^7/_8$		
3	p.	u.	PE.	2		Länger anhaltend.
4	p.	o.	PE.	$2^1/_{10}$		Schon nach $^1/_5$ Secunde auf etwa $^1/_{10}$ Mm. herabgegangen.
5	c.	o.		4		
6	c.	u.		2	$3^1/_4$	
7	c.	u.		$1^1/_2$	$2^1/_3$	
8	c.	u.	PE.	$1^1/_3$	$2^1/_2$	
9	c.	o.	PE.	4		
10	c.	o.		$2^9/_{10}$		
11	c.	u.		$3^2/_3$		
12	c.	u.	CE.	2		
13	c.	o.	CE.	$2^1/_3$		
14	p.	o.		$1^1/_4$		
15	p.	u.		1		
16	p.	u.	PE.	Nichts.		

Versuchs-nummer.	Erregender Strom. Richtung desselben.	Erregender Strom. Seiner Wirkung ausgesetzte Strecke des Rückenmarkes.	Elektrotonisirende Kette. Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe in den ersten 1,8 Secunden in Millimetern. Schliessungszuckung.	Grösste Hubhöhe in den ersten 1,8 Secunden in Millimetern. Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
17	p.	o.	PE.	Nichts.		
18	c.	o.		1 1/3		
19	c.	u.		1 1/10		
20	c.	u.	PE.	1		
21	c.	o.	PE.	3/5		
Zweiter Frosch.						
22	p.	o.		2 2/3		
23	p.	u.		5 1/3		Erst 4 1/3 und nach einer halben Secunde Steigerung auf 5 1/3.
24	p.	u.	PE.	5 3/4		
25	p.	o.	PE.	Nichts.		
26	p.	o.		2/3		
27	p.	o.	PE.	1 2/5		
28	p.	u.		1 1/2		
29	p.	u.	PE.	1		
30	c.	o.		2 1/3		Nach einer Stunde Ruhezeit.
31	c.	u.		2 9/10		Zuerst 1 7/8 und n. 2/5 Sec. 2 9/10.
32	c.	u.	CE.	3 9/10		
33	c.	o.	CE.	Nichts.		
Dritter Frosch.						
34	c.	o.		1 1/5	1 1/2	
35	c.	u.		5 1/4	4 7/8	Drei Stösse bei der Oeffnung.
36	c.	u.	CE.	5 1/2	2 3/4	
37	c.	o.	CE.	2	Nichts.	
38	p.	o.		3 1/10		
39	p.	u.		4 1/3		
40	p.	u.	CE.	4 1/2	3 1/3	
41	p.	o.	CE.	Nichts.	Nichts.	
42	p.	o.	CE.	Niehts.	Niehts.	
43	p.	o.		1		
44	p.	o.		1 1/3		

Die leichte Veränderung und Ersehöpfung der Thätigkeiten des elektrotonisirten Rückenmarkbezirkes maeht es nöthig, vor Allem nur die ersten Versuche, die man an einem Thiere anstellt, zu berücksichtigen. Könnte man sich daher nur an No. 3 und 4, No. 24 und 25 halten, so würde folgen, dass auch im lebenden Rücken-

marke mittelgrosser und nicht sehr kräftiger Frösche die extrapolare katelektrotonische Strecke vor der anelektrotonischen begünstigt ist. No. 30 bis 32 deuten an, dass die Erholung zu diesem Zustande zurückzuführen vermag. Allein gerade die an dem dritten Frosche angestellte Versuchsreihe, die zu den gelungensten gehört, zeigt, dass der Elektrotonus gleich im Anfange nach beiden Seiten erhöhend wirken kann.

Die später angestellten Beobachtungen weichen unter einander wesentlich ab, so dass hier noch andere Bedingungsglieder in Betracht kommen. Dieses wird um so weniger befremden, als bisweilen die Durchleitung des constanten Stromes durch das Rückenmark anhaltende Wechselkrämpfe und eine auffallend rasche Erschöpfung hervorruft.

Der Gebrauch des Magnetelektromotors führt auch hier zu Eigenthümlichkeiten, wie in den Nervenstämmen. Es ergab sich z. B. bei einer ähnlichen Anordnung, wie für die hydroelektrische Kette und einer Arbeitsdauer des Magnetelektromotors von ungefähr 4 Secunden:

Versuchsnummer.	Der Wirkung des Magnetelektromotors ausgesetzte Strecke des Rückenmarkes.	Elektrotonisirende Kette. Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe während der ersten 1,8 Secunden in Millimetern.
1	o.		$6^{1}/_{10}$
2	u.		$5^{9}/_{10}$
3	o.	CE.	$4^{9}/_{10}$
4	u.	CE.	$4^{3}/_{4}$
5	o.		$5^{1}/_{5}$
6	u.		$5^{1}/_{3}$
7	u.	PE.	$3^{3}/_{4}$
8	o.	PE.	$5^{1}/_{10}$
9	o.		$5^{1}/_{10}$
10	u.		$5^{2}/_{3}$
11	u.	CE.	$4^{3}/_{4}$
12	o.	CE.	$4^{1}/_{2}$
13	o.		$4^{1}/_{4}$
14	u.		$4^{9}/_{10}$
15	u.	PE.	$4^{1}/_{3}$
16	o.	PE.	$3^{1}/_{2}$
17	o.		$3^{1}/_{2}$
18	u.		$4^{9}/_{10}$
19	u.	PE.	$4^{1}/_{2}$
20	u.	CE.	$4^{9}/_{10}$

Dass endlich der Inductionsschlag ähnlich wirkt, mag ebenfalls ein Beispiel mit der gleichen Versuchsanordnung lehren:

Versuchs-nummer.	Inductionsstrom.		Elektrotonisirende Kette. Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe während der ersten 1,8 Secunden in Millimetern.	
	Richtung des Schliessungs-stromes.	Sein Wirkungs-bezirk.		Schliessungs-zuckung.	Oeffnungs-zuckung.
1	p.	o.		1	$1^3/_5$
2	p.	u.		$1^1/_4$	$1^9/_{10}$
3	p.	u.	CE.	$1^3/_4$	3
4	p.	o.	CE.	$2^1/_{10}$	$1^1/_2$
5	c.	o.		$1^3/_5$	$1^3/_4$
6	c.	u.		1	$2^1/_{10}$
7	c.	u.	PE.	$1^1/_3$	$1^7/_8$
8	c.	o.	PE.	$1^1/_4$	$1^2/_5$
9	c.	o.		$^3/_4$	$1^1/_2$
10	c.	u.		$1^1/_3$	$1^9/_{10}$
11	c.	u.	PE.	$^1/_3$	$^2/_3$
12	c.	o.	PE.	$^1/_4$	$^3/_4$

Die ersten Versuche (No. 3 und 4) gaben hier übereinstimmende Wirkungen nach beiden Seiten der elektrotonisirten Rückenmarksstelle. Sie waren herabsetzend bei dem Gebrauche des Magnetelektromotors und grösstentheils erhöhend bei dem der Inductionsschläge. Dieses und die nähere Betrachtung der übrigen Ergebnisse deuten an, dass weder die Stromesrichtung der elektrotonisirenden Kette, noch wahrscheinlich die Erregungsgrösse, sondern die rasch wechselnde Stimmung des Rückenmarkes von wesentlichster Bedeutung ist.

Nimmt man eine verhältnissmässig starke elektrotonisirende Kette oder arbeitet man mit einer schwächeren an einem erschöpften Rückenmarke, so bemerkt man leicht die Hemmungswirkungen des beständigen Stromes für die höhere extrapolare Strecke. Man erhält eine nur unbedeutende oder gar keine Zuckung bei der Ansprache des oberen und eine mehr oder minder beträchtliche Wirkung bei der des unteren Rückenmarksbezirkes.

Ich führte die Untersuchung der Verhältnisse der intrapolaren Strecke des Rückenmarkes ganz nach derselben Anordnung, wie die der Erscheinungen der extrapolaren durch, nur mit dem Unterschiede, dass die Nadeln, welche der elektrotonisirenden Kette entsprachen, an dem äussersten Ende und die der erregenden Kette zwischen ihnen eingestochen waren. Der Gebrauch der früheren Kettenströme ergab hierbei wiederum an mittelgrossen Fröschen:

Versuchs-nummer.	Erregender Strom.		Elektrotonisirende Kette.	Grösste Hubhöhe in den ersten 1,8 Secunden in Millimetern.		Zeitdauer in Secunden.	
	Richtung desselben.	Seiner Wirkung ausgesetzte Rückenmarksstrecke.	Stromesrichtung.	Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.
1	c.	o.		4	$1^1/_2$	0,9	0,3
2	c.	o.		2	2	0,28	0,28
3	c.	u.		5 und nach 1,7 Sec. $4^1/_2$, nach 3,6 Secunden fast Null.	$4^1/_3$		
4	c.	u.	PE.	$4^1/_4$, nach 1,8 Sec. noch $2^1/_2$, nach 3,6 $1^1/_2$.	2		
5	c.	o.	PE.	$5^1/_6$	$5^1/_2$	Mehr als 1,8 anhaltend.	
6	p.	o.		$4^1/_4$, noch nach 1,1 Sec. 4, dann rasch fallend.	Nichts.		
7	p.	u.		3	$1^1/_3$	0.2	0,4
8	p.	u.	PE.	$2^9/_{10}$	$2^1/_3$	0,3	0,3
9	p.	o.	PE.	$4^2\ _3$	$2^2/_3$	0,8 und dann asymptotisch.	0,3
10	p.	o.		$2^1/_{10}$, nach 1,8 Sec. $1^1/_3$, nach 4 Sec. $^2/_3$.	2		Mehr als 0,6.
11	p.	o.		2, nach 1,8 Sec. $1^1/_{10}$.	Nichts.		
12	p.	u.		$1^9/_{10}$	Nichts.	0,36 und dann asymptotisch.	
13	p.	u.		$2^4/_5$	Nichts.	0,32	
14	p.	u.	CE.	$1^1/_2$	Nichts.	0,36	
15	p.	u.	CE.	2	$2^9/_{10}$	0,36	
16	p.	o.	CE.	$2^9/_{10}$, nach 1,8 Sec. $2^1/_3$, nach 3,6 Sec. $1^1/_3$.	Nichts.		
17	c.	o.		$1^9/_{10}$ und nach 1,8 Sec. $1^4/_5$.	Nichts.		
18	c.	u.		$2^3/_5$ und nach 1,8 Sec. $1^1/_2$.	$2^1/_2$		
19	c.	u.	CE.	$1^1/_4$	1	Lange anhaltend.	
20	c.	o.	CE.	$1^1/_{10}$	Sehr gering.		

Zweiter Frosch.

21	c.	o.		$2^3/_4$	
22	c.	u.		$5^1/_4$ mit mehrfacher plötzlicher Steigung.	
23	c.	u.	PE.	5 mit mehrfacher plötzlicher Steigung.	
24	c.	o.	PE.	$1^2/_3$	
25	p.	o.		$2^1/_3$	$2^3/_4$
27	p.	u.		$2^1/_3$	$3^1/_2$
28	p.	u.	PE.	$1^1/_2$	Nichts.
29	p.	u.	PE.	$1^1/_2$	Nichts.
30	p.	o.	PE.	1	Nichts.
31	p.	o.		4	
32	p.	u.		3	
33	p.	u.	CE.	$3^3/_4$	
34	p.	o.	CE.	1	

Dritter Frosch.
(Diente schon zu Versuchen mit Inductionsschlägen.)

35	c.	o.		$5^2/_3$ u. noch $2^1/_3$ nach 14 Sec.	Nichts.
36	c.	u.		5 u. noch $1^1/_{10}$ nach 10 Sec.	$4^2/_3$
37	c.	u.	CE.	4	$2^9/_{10}$
38	c.	o.	CE.	4	$4^1/_{12}$
39	p.	o.		$2^1/_2$	$2^7/_8$
40	p.	u.		2	Nichts.
41	p.	u.	PE.	2	Nichts.
42	p.	o.	PE.	$1^3/_5$	Nichts.
43	p.	o.		2	
44	p.	u.		$1^5/_6$	
45	p.	u.	CE.	$2^1/_3$	1
46	p.	o.	CE.	$1^1/_2$	$^3/_4$
47	c.	o.		$2^1/_3$	$2^1/_2$
48	c.	u.		$3^1/_3$	$3^2/_5$
49	c.	u.	CE.	$1^7/_8$	Nichts.
50	c.	o.	CE.	$3^1/_3$	Nichts.

Diese Beispiele lehren, dass auch für die intrapolare Strecke des Rückenmarkes noch andere Bedingungsglieder der Wirkung auftreten, als die geringere Entfernung der Reizungsstelle von dem positiven oder dem negativen Pole. Der Umstand, dass die Schliessungs- und die Oeffnungszuckung der doppelten Wirkung nicht immer parallel gehen, spricht schon für diese Ansicht. No. 35 und 38 liefert z. B. einen Fall, in welchem sich die Schliessungszuckung erniedrigte und die Oeffnungszuckung, die früher fehlte, herstellte. Man darf nach anderen Erfahrungen schliessen, dass das Letztere keine ausschliessliche Folge des Elektrotonus gewesen. Wollen wir aber nur die Schliessungszuckung in Betracht ziehen, so zeigt sich z. B. der Vortheil in No. 16, 41 und 50 auf der katelektrotonischen und in No. 5, 9, 23 und 34 auf der anelektrotonischen Seite. Da No. 5 und 23 den ersten Versuchen, die an dem Thiere gemacht wurden, angehören, so lässt sich nicht die kräftigere Wirkung des dem positiven Pole näheren Bezirkes aus einer durch vorangegangene Erregungen des Rückenmarkes bedingten Stimmungsveränderung erklären. Andere Bedingungen scheinen daher tiefer, als die Beziehungen der intrapolaren Erregungsstelle zu den Polen des beständig durchfliessenden Stromes eingreifen zu können.

Einige Versuche, die ich mit den wiederum vier Secunden anhaltenden Schlägen des Magnetelektromotors anstellte, fielen eher zu Gunsten der kräftigeren Wirkung der katelektrotonischen als der anelektrotonischen intrapolaren Strecke aus. Ich wechselte hier zugleich den Abstand der Inductionsrolle von der inducirenden, ein Verfahren, das zu einem eigenthümlichen, bald hervorzuhebenden Ergebnisse führte.

Man hatte:

Erster Frosch.

Versuchsnummer.	Der Wirkung des Magnetelektromotors ausgesetzte Strecke des Rückenmarkes.	Elektrotonisirende Kette. Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe während d. ersten 1,8 Sec. in Mm.	Gegenseitige Stellung der inducirenden und der inducirten Spirale.
1			$5^2/_5$	Beide Rollen ganz übereinander.
2	o.		$5^2/_5$	
3	u.	PE.	$4^3/_4$	
4	u.	PE.	$2^1/_3$	
5	o.		$^2/_3$	
6	o.		$^3/_4$	
7	u.	PE.	$^3/_4$	
8	u.	PE.	$^2/_5$	

Zweiter Froseh.

Versuchsnummer.	Der Wirkung des Magnetelektromotors ausgesetzte Strecke des Rückenmarkes.	Elektrotonisirende Kette. Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe während d. ersten 1,8 Sec. in Mm.	Gegenseitige Stellung der inducirenden und der inducirten Spirale.
9	o.		4	Die Inductionsrolle so weit vorgeschoben, dass ihr dem Hammerwerk zugekehrtes Ende um 2 Centimeter von dem äussersten Ende der inducirenden Spirale entfernt war.
10	u.		$2^3/_4$	
11	u.	PE.	Nichts.	
12	o.	PE.	Nichts.	
13	o.		$4^1/_5$	
14	u.		$3^3/_4$	
15	o.		$1^2/_5$	
16	u.		$1^1/_2$	
17	u.	CE.	$1^2/_3$	Die Rollen näher.
18	o.	CE.	$1^2/_5$	
19	o.		$1^1/_5$	
20	u.		$1^1/_4$	Die Inductionsrolle ganz über die inducirende geschoben.
21	u.	CE.	$^7/_8$	
22	o.	CE.	$1^1/_5$	
23	o.		$1^1/_5$	
24	u.		$^5/_6$	
25	u.	PE.	1	
26	o.	PE.	$^7/_8$	
27	o.		$^9/_{10}$	Die Spiralen wie früher durch eine Entfernung von 2 Centimetern wechselseitig getrennt.
28	o.	PE.	Nichts.	
29	u.		$^2/_3$	
30	u.	PE.	Nichts.	

Vergleicht man hier die mit den sehwachen Sehlägen des Magnetelektromotors angestellten Versuehe No. 9 bis 12 und No. 27 bis 30 mit denen, welehe mit den kräftigen Wirkungen gemacht worden, so sieht man, dass der Erfolg nieht bloss von der beständig durchfliessenden Kette, sondern auch von der Grösse der Erregung abhängt. Derselbe Grad von Elektrotonus kann für eine sehwächere Reizung hemmend und für eine stärkere naeh einer oder naeh beiden Seiten hin erregend wirken. Der Mittelfall ist der, dass er beiderseits herabsetzt, naeh der einen Seite aber stärker als naeh der anderen, wie z. B. No. 3 und 4 an dem ganz frisehen Präparate zeigt.

Ieh bestimmte in einer Versuehsreihe, die ieh mit den Inductionsschlägen und den intrapolaren Bezirken des Rüekenmarkes anstellte, die Zeiten, welehe von dem Anfange bis zu der grössten Höhe der

Zusammenziehung oder während des Wachsthumes der Verkürzung verflossen und die, welche der Erschlaffung zukamen.

Man hatte:

Versuchsnummer.	Inductionsstrom. Richtung des Schliessungsstromes.	Inductionsstrom. Sein Wirkungsbezirk im Rückenmarke.	Elektrotonisirende Kette. Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe während der ersten 1,8 Secunden in Millimetern. Schliessungszuckung.	Grösste Hubhöhe während der ersten 1,8 Secunden in Millimetern. Oeffnungszuckung.	Zeitdauer in Secunden. Schliessungszuckung. Zunahme der Verkürzung.	Zeitdauer in Secunden. Schliessungszuckung. Erschlaffung.	Zeitdauer in Secunden. Oeffnungszuckung. Zunahme der Verkürzung.	Zeitdauer in Secunden. Oeffnungszuckung. Erschlaffung.
1	p.	o.		$3^3/_5$	$2^2/_5$, nach 1,1 Scc. noch $2^1/_{10}$.	0,018			
2	p.	u.		Nichts.	$3^9/_{10}$, nach 1,8 Sec. 1,9.				
3	p.	u.	PE.	$3^1/_{10}$	3	0,2		1,0	
4	p.	o.	PE.	$3^3/_5$	$2^1/_3$	0,016		0,8	
5	p.	o.		$4^1/_2$	$3^1/_{10}$, nach 1,8 Sec. $2^3/_4$.	0,12	0,10		
6	p.	u.		$3^1/_{10}$	4	0,009	0,065		
7	p.	u.	CE.	$2^1/_5$	$3^2/_3$	0,005	0,045	0,006	0,045
8	p.	o.	CE.	3	$2^1/_2$	0,004	0,017	0,005	0,03

Die allerersten Versuche No. 1 bis 4 fielen hier so aus, dass die katelektrotonische intrapolare Strecke den Vorrang vor der anelektrotonischen für die Schliessungszuckung hatte. Die späteren Beobachtungen liessen dies nicht mehr deutlich erkennen.

Die meisten Muskelcurven zeigen die Eigenthümlichkeit, dass der der Erschlaffung zukommende Antheil grösser, als der dem Ansteigen der Hubhöhe entsprechende Abschnitt ausfällt. Man sieht aus den oben angeführten Beispielen, dass die erstere Zeit das Neunfache in No. 7 betrug. Ich hatte andere Fälle in denen sie mehr als das Zwanzigfache ausmachte. Die lang anhaltende Oeffnungsinductionswirkung fodert in der Regel weit mehr Zeit für die Erschlaffung, als für das Waehsthum der Verkürzung. No. 5 kann zeigen dass es Ausnahmen davon gibt. (Vgl. auch oben S. 56). Führt der Inductionsstrom zu einem kräftigen Schliessungsschlage, so hält gewöhnlich die Erschlaffung länger, als die Vergrösserung der Zusammenziehung an. Ich stiess aber auf eigenthümliche Curven, wenn nur eine schwache und sehr kurz dauernde Schliessungszuckung zu Stande kam. Die Muskelcurve hatte einen beinahe eben so grossen auf-, als absteigenden Schenkel, so dass kein merklicher

Unterschied zwischen der Dauer der Zunahme der Verkürzung und der der Erschlaffung eintrat.

Die Hauptergebnisse dieser Untersuchung sind:

1. Die Erregung des Rückenmarkes durch hydroelektrische Ströme führt zu ähnlichen Zuckungsgesetzen, wie die der lebenden peripherischen Bewegungsnerven. Man hat nur eine Schliessungs- und keine Oeffnungszuckung bei geringeren Graden der Reizung oder des Erfolges für jegliche Stromesrichtung und eine Schliessungs- und eine Oeffnungszuckung bei kräftigern Eingriffen oder Wirkungen. Eben so

2. liefern Inductionsschläge, ähnlich wie in den peripherischen Nervenstämmen, eine schwächere Schliessungs- und eine stärkere Oeffnungszuckung. Man erhält daher die letztere allein, wenn die Erregung oder der Erfolg geringer sind. Die Anbringung einer Nebenschliessung nach Helmholtz kann auch hier den Unterschied verkleinern.

3. Die Reizung eines Bezirkes des Rückenmarkes pflegt auf diejenigen Muskeln am stärksten zu wirken, deren Nerven in die erregte Stelle des Rückenmarkes oder dicht bei derselben eintreten. Man hat daher oft für diese Verkürzungsgebiete eine Schliessungs- und eine Oeffnungszuckung, für diejenigen aber, deren Nerven tiefer und entfernter eindringen, nur eine Schliessungszuckung oder gar keine Wirkung.

4. Es ist im Allgemeinen richtig, dass die elektrische Erregung einer tieferen Rückenmarksstelle eine kräftigere Verkürzung des Wadenmuskels hervorruft, als die einer höheren. Allein die so leichte Veränderung der Empfänglichkeit der einzelnen Abschnitte des Rückenmarkes und die nicht immer gleich herzustellenden Versuchsbedingungen können auch Ausnahmen von dieser Regel herbeiführen.

5. Ein das Rückenmark quer durchsetzender beständiger Strom kann für schwächere Erregungen hemmend wirken. Diese liefern daher nur Zuckungen, wenn sie unterhalb, nicht aber, wenn sie oberhalb der beständig durchflossenen Rückenmarksstelle wirken.

6. Tritt ein beständig fliessender Strom der Länge nach durch das Rückenmark, so darf man höchstens nach den allerersten Versuchen, die man an dem Thiere anstellt, zu urtheilen versuchen, ob die katelektrotonische oder die anelektrotonische extrapolare oder intrapolare Strecke im Vortheil ist, weil sich die Stimmungszustände des Rückenmarkes durch die Wirkungen des starken beständig durch-

fliessenden Stromes rasch und durchgreifend zu ändern pflegen. Es kommt in mittelgrossen bis kleinen, aber sonst lebhaften Fröschen als Regel vor, dass die Empfänglichkeit des Rückenmarkes nach wenigen Versuchen erschöpft ist und eine spätere Erholung ausbleibt oder erst nach Stunden langer Ruhe eintritt.

7. Betrachtet man zunächst die extrapolaren Wirkungen im Rückenmarke, so können die ersten vier Vergleichsversuche, die man an einem lebhaften mittelgrossen Frosche anstellt, zu dem Ergebnisse führen, dass der beständig durchfliessende Strom die Empfänglichkeit nach beiden Seiten hin erhöht, freilich z. B. nach der katelektrotonischen mehr, als nach der anelektrotonischen. Man hat dann andere Frösche in denen sich der anelektrotonische Bezirk als hemmender und der katelektrotonische Bezirk als begünstigender in den ersten Versuchen darstellt. Es zeigt sich also hier eine ähnliche, von der Kräftigkeit der Gewebe abhängige doppelte Möglichkeit, wie in den peripherischen Nerven. Die Aenderung des Stimmungszustandes des Rückenmarkes und die nicht selten auftretenden Krämpfe, welche der Durchfluss des beständigen Stromes erzeugt, können den mannigfachsten Wirkungswechsel hervorrufen.

8. Der Gebrauch des Magnetelektromotors oder einzelner Inductionsschläge kann (wie der der hydroelektrischen Kette) Fälle vorführen, in denen die katelektrotonische, und andere darauf folgende, in denen der anelektrotonische Bezirk der begünstigtere ist. Man sieht hieraus, dass dann nicht die Lage des erregten Bezirkes in der Nähe des negativen oder des positiven Poles, sondern andere Bedingungsglieder den Ausschlag geben.

9. Aehnliche schwankende Verhältnisse kehren für die intrapolare Strecke in längeren Versuchsreihen wieder.

10. Die Wirkung hängt nicht bloss von der Stärke des beständigen, sondern auch von der des sich abgleichenden Stromes unter sonst übereinstimmenden Verhältnissen ab. Ein und derselbe anhaltend durchfliessende Strom kann hemmend wirken, wenn die Erregung von einem schwachen Strome ausgeht, und erhöhend, wenn jene durch einen stärkeren Strom bewirkt wird. Denkt man sich, dass die Nervenmolecüle durch den constanten Strom gedreht oder überhaupt in einer anderen Lage gehalten werden und die Nerventhätigkeit auf einem Wechsel der Stellung derselben beruht, so wird die neue durch den Elektrotonus bedingte Stellung Widerstandskraft genug darbieten, wenn eine schwächere Erregung eingreift, um alle Wirkung zu hemmen. Eine sehr starke Reizung überwindet ihn und

zwar entweder so, dass sich noch ein Theil des Widerstandes durch die Erniedrigung des Erfolges geltend macht oder so, dass eine Erhöhung herauskommt, indem die Lagenveränderung des Elektrotonus zu der der Erregung als Verstärkungsgrösse hinzutritt. Diese Auffassung erklärt auch die Mittelstufen der Erfolge, denen man häufig begegnet.

11. Da ähnliche Erscheinungen, wie die zuletzt erwähnten, an den Nerven wiederkehren, so werden zwei Werthe, die augenblickliche ursprüngliche Beschaffenheit der Nervenelemente und das Verhältniss der Grösse der Erregung zu der des beständig durchfliessenden Stromes den Erfolg bestimmen. Es ist wahrscheinlich immer möglich, Hemmung, Herabsetzung oder Erhöhung bei passend wachsender Reizung für eine und dieselbe ursprüngliche augenblickliche Beschaffenheit des Bewegungsnerven oder des Rückenmarkes hervorzurufen.

12. Der Gebrauch der Inductionsströme führt im Allgemeinen zu grösseren Hubhöhen für den Oeffnungsschlag, als für den Schliessungsschlag bei jeder Stromesrichtung, vorausgesetzt dass man nicht das Charakteristische der Ersteren durch eine Nebenschliessung herabgesetzt hat. Die durch jenen erregte Zusammenziehung pflegt auch länger zu dauern. Man hat dabei die Regel, dass die Erschlaffung einen weit grösseren Zeitraum beansprucht, als das Wachsthum der Hubhöhe von Null bis zu dem grössten Werthe, den sie überhaupt erreicht. Diese Norm wiederholt sich in den meisten Fällen für den Schliessungs- wie für den Oeffnungsinductionsschlag. Es kann bei dem letzteren vorkommen, dass die Erschlaffung 20 Mal länger, als das Wachsthum der Verkürzung dauert und die Zusammenziehung überdiess noch asymptotisch ausläuft. Man hat bisweilen etwas ähnliches bei der Schliessungszuckung der Inductionsströme oder anderer galvanischer Einwirkungen. Sind die Inductionsschläge schwach oder das Präparat wenig empfänglich, so bleiben nur die Oeffnungswirkungen kräftig. Die Schliessungszuckungen werden in jeder Beziehung unbedeutender und fehlen zuletzt gänzlich. Man erhält häufig geringere Hubhöhen und kürzere Zeiten der Zusammenziehung. Beide Momente ändern sich jedoch nicht gleichförmig. Hat man die Stufe der Wirkung, bei der eine nur schwache Schliessungszuckung vorkommt, so stösst man bisweilen auf den Fall, dass die ganze Zusammenziehung nicht nur weit rascher abläuft, als die Oeffnungszuckung, sondern dass die Vergrösserung der Hubhöhe von Null bis zu dem Maximum eben

so lange oder selbst etwas länger dauert, als die Abnahme von jenem Maximum auf Null. Die längere Zeit der Erschlaffung, die man in den bei weitem meisten Zuckungscurven antrifft, will sagen, dass die durch die Belastung bewirkte Dehnung des Muskels nur sehr allmählich das Uebergewicht über die einmal eingeleitete Verkürzung gewinnen kann. Die oben erwähnte Curvenform der letzten Reste der Schliessungszuckung des Inductionsschlages zeigt an, dass die Intensität der Verkürzung viel geringer als gewöhnlich ist, so dass sie um so leichter und schneller von der elastischen Dehnung besiegt wird.

§. 8. Die Einflüsse der Temperatur und der Aetherisation auf die Zusammenziehung der Muskeln.

Die langsamen und zum Theil beschwerlichen Verkürzungen, welche unsere Muskeln z. B. des Gesichtes in der Winterkälte darbieten, bestimmten mich zunächst, Muskelcurven unter ähnlichen Verhältnissen aufzeichnen zu lassen. War der enthirnte Frosch, wie gewöhnlich, hergerichtet und ausgespannt, so umgab ich den Unterschenkel mit einem postpapierdünnen Blättchen von Gutta percha, dessen Rand unmittelbar vorher an der Lampe klebrig gemacht worden, so dass man es dadurch an eine andere Stelle desselben anheften konnte. Eine zweite Hülle von Baumwolle, in deren Tiefe die Kugel eines sehr kleinen Thermometers tauchte, kam um jene Guttaperchahülle. Der Wärmemesser gab natürlich nur die Temperatur der Baumwolle an. Man hatte aber hierdurch wenigstens einen Maassstab, wie die Umgebung des Muskels erkältet oder erwärmt war. Tropfte man Aether auf die Baumwolle, so brachte die Verdunstung desselben die Wärme sehr rasch von + 13° auf — 8° oder noch mehr herunter. Man kann dann leicht bis — 15° erhalten. Das Aufgiessen von Wasser, dessen Wärme 15° bis 35° betrug, bewirkte eine schnelle Temperaturerhöhung. Man durfte wärmeres Wasser nicht anwenden, da sonst die Froschmuskeln in den Zustand der Kochung oder der Wärmestarre verfallen und daher reizlos geworden wären.

Brachte ich die Temperatur von + 12° oder 14° auf — 8° oder — 10° herunter und liess eine Muskelcurve von Zeit zu Zeit aufschreiben, so bemerkte ich, dass die Erkältung zweierlei Veränderungen nach sich zog. Die Zusammenziehung wurde langsamer und es dauerte besonders viel länger, ehe das Maximum der

Hubhöhe erreicht war. Diese und die Reizbarkeit überhaupt nahmen überdiess ab. Der letztere Erfolg trat aber später als der erstere ein. Wir wollen uns das Gesagte durch ein Beispiel klar machen.

Ich regte eine 3 Millimeter lange Strecke des Oberschenkeltheiles des Hüftnerven mittelst des Schlusses des Uhrwerkes wie gewöhnlich an und erhielt bei dem Gebrauche eines aufsteigenden Kettenstromes:

Wärme der Baumwolle in Celsiusgraden.	Grösste Hubhöhe der Schliessungszuckung in Millimetern.	Zeitdauer des Wachsthumes der Verkürzung von Null bis zur grössten Höhe in Secunden.
+ 12°	3 3/5	0,13
— 1°	3 1/3	0,29
— 6°	3 3/4	0,34
— 8°	2 4/5	0,36

Die noch eine Zeit lang anhaltende Abkühlung brachte den Muskel so sehr herunter, dass die Hubhöhe kaum ein Millimeter betrug. Die Muskelcurve, die später + 3° entsprach, gab nur 1 und die, welche zu + 9° aufgeschrieben wurde, 1 1/3 Millimeter. Der Wadenmuskel lieferte nur eine Schliessungszuckung, die von dem elektrischen Strome ebenfalls getroffenen Oberschenkelmuskeln dagegen Zusammenziehungen bei dem Schlusse und der Oeffnung der Kette.

Die Abkühlung auf — 8° hatte in andern Fällen so nachtheilig gewirkt, dass die grösste Hubhöhe noch kein Millimeter betrug, wenn selbst später die Wärme wiederum auf + 13° gestiegen war. Ich machte eine andere Versuchsreihe, in der die eine Viertelstunde anhaltende Abkühlung des Gastrocnemius alle spätere Wirkung trotz einer Ruhezeit von 1 1/2 Stunden bei 13° C. beseitigte, während die benachbarten Oberschenkelmuskeln mit Schliessungs- und Oeffnungszuckungen antworteten.

Ich versuchte noch die Abkühlung der Massen des Oberschenkels, mithin auch des Hüftnerven. Der Oberschenkel wurde mit einem dünnen Guttaperchablatte umhüllt und dieses mit den zwei als Elektroden dienenden amalgamirten Nadeln festgestochen. Die Baumwolle, welche das Thermometer umgab, kam um diese Hülle. Ich tropfte den Aether erst auf, nachdem die erste der in der folgenden Tabelle verzeichneten Zuckungen aufgeschrieben worden. Man hatte:

Wärme der Baumwolle in Celsiusgraden.	Grösste Hubhöhe in Millimetern.		Zeitdauer in Secunden.					
			Wachsthum der Verkürzung von Null bis zum Maximum.		Erschlaffung.		Gesammtzuckung.	
	Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.
$16^0,6$	4		0,12					
$6^0,0$	$2^1/_3$	$2^1/_{10}$	0,09	0,09	1,135	0,11	0,225	0,20
$3^0,0$	$1^1/_3$	$1^3/_5$	0,15	0,15	0,21	0,21	0,36	0,36

Die Reizung des Nerven erzeugte keine Zuckungen mehr, wenn die Wärme der Baumwolle auf $-\ ^1/_2{}^0$ und $-\ 1^1/_2{}^0$ C. gesunken und später wieder auf $+\ 6^0$ und $+\ 13^0$ gestiegen war. Man sieht, dass man auch hier eine niedrigere und langsamere Zusammenziehung erhalten kann. Dieses gelingt jedoch mit weniger Sicherheit, als wenn man den Wadenmuskel selbst abkühlt. Die Kräfte des Nerven erloschen auch früher in dem angeführten Falle.

Die vorsichtige Erwärmung des Muskels kann die Zeitdauer, innerhalb derer die Hubhöhe von Null bis zu dem Maximum ihrer Grösse gelangt, herabsetzen. Man darf natürlich keine höhern Wärmegrade als etwa 38^0 bis 40^0 anwenden, weil sonst die Kochung oder die Wärmestarre der Muskeln eintritt.

Ich richtete z. B. Alles, wie in den früheren Versuchen mit dem Magnetelektromotor ein, so dass dieser während der vier-Secunden des Durchganges des Stahlstiftes durch den Quecksilbertropfen hämmerte. Der Muskel war wiederum mit Guttapercha und dann mit Watte, in welcher die Kugel des kleinen Thermometers steckte, umhüllt. Ich liess zuerst eine Curve bei gewöhnlicher Wärme aufzeichnen, tropfte dann den Aether auf, und verzeichnete eine zweite Curve, nachdem die Wärme unter Null gesunken war. Nun goss ich warmes Wasser, damit ich zwei andere Curven bei verhältnissmässig hoher Temperatur gewinnen konnte. Es fand sich:

Wärme der Baumwolle.	Grösste Hubhöhe in Millimetern.	Zeit des Ansteigens der Hubhöhe von Null bis zum Maximum in Sec.
$+\ 16^0$	$1^9/_{10}$	0,65
$-\ 2^0$	$1^3/_4$	0,90
$+\ 36^0$	2	0,07
$+\ 32^0$	$1^1/_3$	0,06

Ich habe noch vergleichsweise untersucht, ob die Aetherbetäubung ähnliche Erscheinungen, wie eines der beiden Temperaturextreme hervorruft. Ein Stück Blase wurde über die untere Oeffnung eines Trichters gespannt und dann an die Seitenflächen festgeklebt. Man schnitt hierauf eine spindelförmige Oeffnung so aus, dass man den Kopf des Frosches eben durchstecken konnte. Der Hals des Trichters wurde mit Baumwolle gefüllt, diese mit Aether durchtränkt und das Ende der Trichterröhre mit einem Korkzapfen geschlossen.

Die Aetherisation des auf dem Schreibapparate befestigten Frosches, dessen Hirn vorher ohne alle merkliche Blutung mit einer Nadel zerstört worden, gelang leicht. Das Thier verfiel in die tiefste Betäubung, so dass es mit geschlossenen Augen und zusammengefallen da lag. Es erholte sich wiederum an der Luft nach längerer Zeit vollständig. Ich liess vor, während und nach der Aetherbetäubung Muskelcurven aufschreiben, welche mittelst des Durchganges des Stahlstiftes durch den Quecksilbertropfen erhalten wurden. Die Elektrodennadeln befanden sich in dem oberen Theile des Oberschenkels drei Millimeter wechselseitig entfernt.

Der Frosch lieferte Oeffnungs- und Schliessungszuckungen am Anfange und während der grössten Höhe des Aetherrausches. Die Ersteren waren die stärkeren. Man sah schon ohne Aufzeichnungen, dass die Verkürzung etwas Ungestümes hatte. Die Curven lehrten, dass die Ansteigung von Null bis zur Maximalhöhe meistentheils rasch erfolgte und nur später etwas langsamer wurde. Die Erschlaffung dauerte fast immer etwas kürzere Zeit oder nur eben so lange, als die steigende Zunahme der Verkürzung. Erholte sich das Thier aus der Aetherbetäubung, so hatte man nur Schliessungs- und keine Oeffnungszuckungen, obgleich dann die grösste Hubhöhe merklich kleiner, als früher ausfiel. Man erhielt daher die Rückkehr zu dem reinen Zuckungsgesetze des lebenden Nerven trotz der absoluten Abnahme der erreichbaren Hubhöhe. Blieb der erregende Strom einige Zeit absteigend geschlossen, so hatte sich die Stimmung des Nerven so geändert, dass der absteigende Strom nur eine Oeffnungs- und der ansteigende bloss eine Schliessungszuckung lieferte. Dieses blieb auch, nachdem das Thier vollkommen erwacht war und man mittlerer Weise den Strom absteigend oder ansteigend eine Zeit lang geschlossen erhalten hatte.

§. 9. Aenderungen der Nervenstimmung durch Verletzungen des Nervensystemes.

Hat man das Gehirn eines Frosches durch eine eingestochene Nadel zerstört und prüft nach einiger Zeit den Hüftnerven in gewöhnlicher Weise, so erhält man nur eine Schliessungszuckung bei jeglicher Stromesrichtung, wenn man schwache, und doppelte Wirkungen, wenn man stärkere Ketten gebraucht. Schneidet man dann das verlängerte Mark quer durch, so bemerkt man unmittelbar oder einige Zeit darauf eine Erhöhung der Empfänglichkeit, die stürmische Leistungen hervorruft, vorausgesetzt dass eine kräftige Wirkung überhaupt stattfindet. Der Kettenschluss führt zu einer Reihe stürmischer Zuckungen. (Vergl. z. B. Fig. 4 S. 26.) Sie fallen im Allgemeinen bei aufsteigendem Strome lebhafter, als bei absteigendem aus. Ein ausgezeichneter, einem grösseren Frosche entnommener Fall möge dieses näher versinnlichen.

Versuchs-nummer.	Zeit der Einwirkung.		Stromes-richtung.	Grösste Hubhöhe in Millimetern.	
	Stunde.	Minute.		Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.
1	11	15	c.	$4^{9}/_{10}$	$3^{4}/_{5}$
2			p.	$5^{2}/_{3}$	$5^{1}/_{2}$
	11	19		Das verlängerte Mark quer durchschnitten.	
3	11	20	c.	(Zwölf) Zuckungen von $3^{9}/_{10}$, $4^{1}/_{10}$, $6^{1}/_{2}$, $3^{1}/_{3}$, dann nach 0,2 Secunden solche von 5,5, $5^{3}/_{5}$, $5^{1}/_{3}$, $4^{4}/_{5}$, $5^{4}/_{5}$, $4^{1}/_{3}$ und $5^{2}/_{3}$ und Asymptose.	
4			p.	$6^{2}/_{5}$ mit mehrfacher Ansteigung.	$6^{1}/_{2}$ und eine Nachzuckung von $6^{1}/_{3}$.
5	11	26	c.	(Fünf) Zuckungen von $6^{1}/_{2}$, $6^{2}/_{3}$, $5^{1}/_{2}$, $6^{1}/_{4}$ und $5^{2}/_{3}$ und zickzackförmiges Abfallen.	$5^{2}/_{5}$
6			p.	Drei Zuckungen von $5^{2}/_{5}$, $6^{1}/_{3}$ und $6^{4}/_{5}$, dann die Zusammenziehung mit schwachen Schwankungen 1,4 Secunden anhaltend.	$5^{2}/_{5}$
7	11	33	c.	6. Nach 0,36 Secunde auf $5^{3}/_{5}$ fallend, dann wiederum auf $6^{3}/_{5}$ steigend und nach 0,4 Secunde auf $6^{1}/_{4}$ fallend.	$6^{1}/_{10}$
8			p.	$6^{1}/_{10}$. Am Ende der Erschlaffung mehrere Zuckungen.	5 und einige Nachzuckungen.
9	11	39	c.	Vier Zuckungen von $4^{1}/_{2}$ bis $6^{1}/_{3}$.	$4^{2}/_{3}$
10			p.	$6^{1}/_{4}$	$5^{3}/_{4}$ und mehrere Nachzuckungen.

Durchschnitt ich hierauf das Hüftgeflecht, so zeigten sich noch stürmische Zusammenziehungen zwei Minuten nach diesem Eingriffe. Die nach fünf Minuten und später aufgezeichneten Curven dagegen gaben nicht mehr die krampfhaften Auf- und Niedergänge wie früher.

Die Erscheinungen erhöhter Reizbarkeit können auch nach der Zerstörung des Rückenmarkes oder der Durchschneidung des Hüftgeflechts auftreten, ehe die späteren ruhigeren Verhältnisse und endlich die Abnahme der Leistungsfähigkeit zum Vorschein kommen. Es begegnete mir, dass vorzugsweise die Oeffnungszuckungen krampfhafter, höher und kürzer erschienen, nachdem ich das Rückenmark zermalmt hatte. Die spätere Trennung des Hüftgeflechtes führte z. B. zu ruhigeren und längeren Schliessungs- und zu stürmischeren und kürzeren Oeffnungszuckungen bei aufsteigendem und zu grossen, stürmischen und lange anhaltenden Schliessungszuckungen ohne Oeffnungszuckungen bei absteigendem Strome.

Trennt man das Hüftgeflecht des lebenden Frosches, so erhält man zuerst Abnahme, dann Vergrösserung und zuletzt eine immer waehsende Verminderung der Leistungsfähigkeit.

§. 10. Der Wechsel der Nervenstimmung unter dem Einflusse elektrischer Ströme.

Die Hauptanordnung des Versuches stimmte mit der, welche zu den früheren Beobachtungen über Kettenströme gedient hatte. Die eine Elektrode ging zu der nicht isolirten Klemme des Uhrwerkes. Die isolirte enthielt einerseits den Drath, der mit dem Queeksilbertropfen in Verbindung stand und anderseits einen zweiten, der in das Quecksilber der einen seitlichen Vertiefung eines Pohl'schen Stromwenders tauchte. Die zweite Elektrode der Kette begab sich unmittelbar zu dem Quecksilber der zweiten seitlichen Vertiefung. Zwei Dräthe führten aus den beiden vorderen Vertiefungen zu zwei Quecksilbergefässen, in welche die Enden der in dem Oberschenkel des Frosches haftenden Verbindungsstücke versenkt wurden. Man hatte also den Kettenschluss, wenn man das Drathgestell in die Quecksilbernäpfe des Stromwenders brachte und der mit der einen Achse des Uhrwerkes metallisch verbundene und von diesem herumgedrehte Stahlstift den Quecksilbertropfen, wie ein Rheotom durchschnitt.

Eine wesentliche Abweichung fand meistentheils in Vergleich zu den früheren Versuchen statt. Die berusste Scheibe haftete auf der zweiten Achse des Uhrwerkes, die Rheotomvorrichtung dagegen auf der vierten und nur in besonders hervorgehobenen Fällen auf der dritten. Machte die Scheibe eine Umdrehung, so ging daher in der Regel die Stahlspitze hundert Mal durch das Quecksilber. Ich liess die Wirkungen des elektrischen Stromes mindestens während eines vollständigen Scheibenumganges aufzeichnen. Erhielt man alle Zuckungen gesondert, so hatte man hundert Hebungen und Senkungen. Die verschiedenen Umdrehungsgeschwindigkeiten der berussten Scheibe wurden durch den Wechsel der Zuggewichte hergestellt. Bestimmte man den Abstand der Spitze des Stahlstiftes von dem Mittelpunkte der entsprechenden Achse, so gab dieser den Halbmesser des Drehungskreises. Mass man die geradlinigte Entfernung der Ein- und der Austrittsstelle aus dem Quecksilbertropfen, so entsprach diese der Sehne des seiner Bewegung zugehörenden Bogens. Man konnte daher diesen und die Peripherie des ganzen Kreises, folglich auch die Zeit berechnen, während welcher die Kette geschlossen blieb und die, während der sie geöffnet war. Die Dauer des Schlusses betrug ungefähr $^1/_9$ eines ganzen Umganges in den meisten Versuchen.

Ich wählte 4 Hauptzeiten, die den Hauptforderungen der Versuche, wie wir sehen werden, genügten, nämlich:

In Secunden ausgedrückte Zeit			
der Geschwindigkeit der berussten Scheibe.	eines Umganges des Stahlstiftes.	der Dauer eines Kettenschlusses.	der zwischen der Oeffnung und der folgenden Schliessung der Kette liegenden Zeit.
73	0,73	0,08	0,65
35	0,35	0,04	0,31
18	0,18	0,02	0,16
12	0,12	0,015	0,105

Das Bemühen, den Stahlstift an der fünften Achse anzubringen und so tausend Schliessungen und Oeffnungen der Kette für eine Umdrehung der berussten Scheibe zu erhalten, missglückte, weil die Spitze das Quecksilber fortschleuderte und hierdurch der Kreis binnen Kurzem unterbrochen wurde.

War Alles eingerichtet, so liess ich die berusste Scheibe ein Mal herumgehen, während das Drathgerüst des Stromwenders aus

dem Quecksilber herausgehoben war. Der Schreibstift zeichnete daher den Ausgangskreis auf. Setzte man jetzt das Drathgerüst in den Stromwender ein, so wurde die Kette bald geschlossen. Die Wirkung auf den Wadenmuskel trat sogleich ein.

Drehte sich die Scheibe in 73 Secunden ein Mal herum, so dass ein 0,08 Secunden dauernder Schluss der aus 8 kleinen Zinkkohlenelementen bestehenden Kette nach je $^7/_{10}$ Secunden wiederkehrte, so schrieben in der Regel die Wadenmuskeln von mittelgrossen oder kleinen Fröschen, in deren Oberschenkel die amalgamirten Nadeln 3 bis 4 Millimeter entfernt hafteten, alle hundert Zuckungen, die einer Umdrehung der berussten Scheibe entsprachen, gesondert auf. Es kam höchstens an einem oder zwei bis drei Orten vor, dass zwei Zuckungslinien verschmolzen waren, indem sie nicht bis zu ihrer früheren Tiefe herabgingen oder sich ein kleines Bogenstück zwischen den Zickzacken einschaltete. Die erste oder die ersten Zuckungen hatten die grössten, die letzten die kleinsten Hubhöhen. Die Grösse des Unterschiedes hing von dem Stimmungszustande des Nerven, wie wir sehen werden, ab.

Machte hierauf die berusste Scheibe eine Umdrehung in 35 Secunden, so kam es bei kräftigen mittelgrossen Fröschen vor, dass auch jetzt noch alle hundert Zusammenziehungen gesondert aufgezeichnet wurden. Minder kräftige Thiere lieferten aber schon den Uebergang zu der nicht zickzackförmigen Gestalt der Muskelcurve, wie man sie bei dem Gebrauche des Magnetelektromotors erhält. Man hatte im Anfange eine Reihe von langen Auf- und Niedergängen. Diese wurden später kürzer und kürzer, so dass zuletzt nur sehr niedere Wellen aufgezeichnet wurden, bis endlich eine rein bogenförmige Linie zum Vorschein kam. Das ungefähr $^1/_{25}$ Secunde dauernde Geschlossensein der Kette wiederholte sich dann nach nahezu je $^1/_3$ Secunde.

Die Scheibendrehung von 18 Secunden, folglich der $^1/_{50}$ Secunde dauernde Kettenschluss nach je $^1/_5$ bis $^1/_6$ Secunde führte meist zu keinen wellen- oder ziekzackförmigen Curven. Dasselbe war um so eher bei einer Scheibendrehung von 12 Secunden der Fall, wo ein Kettenschluss nach je $^1/_{10}$ bis $^1/_9$ Secunde wiederkehrte. Die erste Erhebungslinie, das Ansteigen bis zu dem scheinbaren Maximum bot höchstens einige schwache Auf- und Niedergänge dar, ein Umstand, der vielleicht in einem zufälligen Nebenumstande seinen Grund hatte. Der Kreis wurde nämlich geschlossen, so wie man das Drathgerüst in die mit Quecksilber gefüllten Vertiefungen des Stromwenders

versenkte. Die sehr ungleiche erste Abgleichung der Elektricität führte daher leicht zu jenen zickzackförmigen Linien.

Man sieht aus dem eben Mitgetheilten, dass die Zuckungen in langen auf- und absteigenden Curven aufgeschrieben werden, sobald nicht die zwischen zwei Kettenschlüssen liegenden Zeiten unter eine gewisse Grösse gesunken sind. Man hat später bei kleineren Intervallen den Uebergangszustand, dass zuerst Zickzacke, dann immer niedere Wellen und endlich eine nicht mehr auf- und niedergehende Linie aufgezeichnet wird. Die Hubhöhe kann in dem letzteren Falle eben so gross und selbst grösser sein, als bei den ersten Zickzacken. Die unvermeidliche Reibung des Schreibstiftes gegen die berusste Platte bedingt es wahrscheinlich, dass man schon eine Linie ohne Auf- und Niedergänge erhält, wenn die letzten Reste von Wellen ohne jenes Reibungshinderniss auftreten würden.

Bestimmte ich die Zeiten, nach den Versuchen, die ich an kräftigen mittelgrossen und kleinen frisch eingefangenen Frühlingsfröschen anstellte, so fand sich:

Aufzeichnungen für hundert Schliessungen der Kette.	In Secunden ausgedrückte	
	Zeitdauer, nach der sich ein Kettenschluss wiederholte.	Dauer des Kettenschlusses.
Jede einzelne der hundert Zuckungen aufgezeichnet.	$^7/_{10}$	$^1/_{12}$ bis $^1/_{13}$
Uebergangsstufe. Zuerst einzelne Zickzacke, dann Wellen und endlich Linie ohne Auf- und Niedergang.	$^1/_3$	$^1/_{25}$
Die Linie ohne Auf- und Niedergang, so wie das scheinbare Maximum der Hubhöhe erreicht worden.	$^1/_5$ bis $^1/_9$	$^1/_{50}$ bis $^1/_{67}$

Ich bemerkte bald, dass die Erschöpfung des Nerven durch die wiederholte Reizung mit diesen gleichgerichteten Strömen einen merklichen Einfluss auf diese Erscheinungen ausübt. Ich untersuchte daher die Verhältnisse, indem ich grössere oder kleinere Ruhezeiten zwischen den einzelnen Versuchsreihen einschaltete. Ein mittelgrosser Frosch gab z. B. für absteigende Ströme:

Umdrehungsgeschwindigkeit der berussten Scheibe in Secunden.	Wirkung.	Bemerkungen.
73	Die erste Zusammenziehung hat eine grösste Hubhöhe von $2^1/_3$ Mm., die 98ste eine solche von $1^4/_5$ Mm., also Abnahme um $^1/_2$ Mm., oder ungefähr $^1/_5$ des ursprünglichen Werthes.	Ganz frisch.

Umdrehungsgeschwindigkeit der berussten Scheibe in Secunden.	Wirkung.	Bemerkungen.
35	Acht grössere und gesonderte Zusammenziehungen, von denen die grösste $2^2/_3$ Mm. als maximale Hubhöhe hatte, dann schwache Wellen und endlich eine Linie ohne Auf- und Niedergang von $2^2/_3$ Hubhöhe. Steiler Abfall nach dem Oeffnen der Kette. Das asymptotische Ablaufen dauert nur ungefähr 10 Secunden.	
18	Linie ohne Auf- und Niedergang. Ziemlich rasche Steigung bis zur grössten Hubhöhe von $3^1/_3$ Mm. Zuletzt so lange anhaltendes asymptotisches Abnehmen, dass noch mehr als die Hälfte der maximalen Hubhöhe nach 144 Secunden vorhanden war.	
73	Hundert einzelne Zuckungen von $2^2/_3$ bis $2^1/_5$ maximaler Hubhöhe. Also Erschöpfungsunterschied $^1/_5$ bis $^1/_6$ des ursprünglichen Werthes.	Zehn Minuten später.
35	Fünf grosse Zuckungen, von denen die erste und stärkste $3^1/_3$ Mm. als Maximalhöhe hatte. Dann immer schwächer werdende Wellen während ungefähr 20 Secunden. Hierauf Linie ohne Auf- und Niedergang von $3^1/_{10}$ Mm. Hubhöhe. Zuletzt nach der Oeffnung des Kreises sehr lange Asymptose.	
18	Linie ohne Auf- und Niedergang zuerst von $3^2/_5$ Mm. und später von $2^1/_3$ Mm. Hubhöhe. Lange Asymptose.	
73	Hundert einzelne Zuckungen von $1^9/_{10}$ bis $1^1/_2$ Mm. maximaler Hubhöhe. Also Erschöpfungsunterschied $^1/_4$ bis $^1/_5$ des ursprünglichen Werthes.	Nach $^3/_4$ Stunde Ruhe.
35	84 einzelne Zuckungen von 2 bis $^4/_5$ Mm. Hubhöhe, dann schwache Wellen, die zuletzt unkenntlich wurden.	
18	Linie ohne Auf- und Niedergang von $3^1/_{10}$ Mm. Hubhöhe. Nach dem Oeffnen sehr kurze Asymptose.	
12	Linie ohne Auf- und Niedergang mit $3^1/_3$ Mm. Hubhöhe. Nach dem Oeffnen etwas stärkere Asymptose und vier Nachzuckungen mit Hubhöhe von 3 bis $3^2/_3$ Mm.	
73	Hundert einzelne Zuckungen von $4^1/_{10}$ bis $2^1/_3$ Mm. Hubhöhe. Also Erschöpfungsunterschied $^1/_2$ bis $^1/_3$ des ursprünglichen Werthes.	Wiederum $^3/_4$ Stunde Ruhe.
35	Hundert Zuckungen, die erste von $3^1/_3$, die übrigen von $2^4/_5$ bis $1^1/_4$ Mm. Hubhöhe. Mithin abgesehen von der ersten, ein Erschöpfungsunterschied von ungefähr $^1/_2$.	
18	Erste Ansteigung zum scheinbaren Maximum zackig, sonst Curve ohne Auf- und Niedergang von $3^1/_3$ Mm. Hubhöhe. Ziemlich starke Asymptose nach dem Oeffnen. Fünf grosse nachträgliche Zuckungen von zum Theil mehr als $3^1/_2$ Mm. Hubhöhe.	
12	Erste Ansteigung schwach zackig. Sonst Linie ohne Auf- und Niedergang von $3^4/_5$ Mm. Hubhöhe, die mehr als 12 Secunden anhielt. Mässige Asymptose. Fünf grosse nachträgliche Zuckungen.	
73	Hundert Zuckungen von $3^3/_4$ bis $2^9/_{10}$ Mm. grösster Hubhöhe. Erschöpfungsunterschied $^1/_4$ bis $^1/_5$ der ursprünglichen Grösse.	Zehn Minuten später.
35	57 einzelne Zuckungen von 3 bis $2^1/_4$ Mm. Hubhöhe, dann eine von $3^1/_2$ Mm., hierauf schwach wellig und bald ohne Auf- und Niedergänge.	

Umdrehungsgeschwindigkeit der berussten Scheibe in Secunden.	Wirkung.	Bemerkungen.
18	Zickzackförmiges rasches Steigen zu dem scheinbaren Maximum der Hubhöhe von $3^1/_{10}$. Nach dem Oeffnen starke Asymptose und eine kräftige Nachzuckung.	
12	Wenig zickzackförmiges Ansteigen zur scheinbar grössten Hubhöhe, dann Linie ohne Auf- und Niedergang von $3^9/_{10}$ Mm. Hubhöhe. Starke Asymptose und vier kräftige Nachzuckungen nach dem Oeffnen.	

Eine zweite Versuchsreihe, die an einem andern mittelgrossen Frosche angestellt worden, hatte den Zweck, in einer Gruppe von Beobachtungen absteigende und in einer andern ansteigende Ströme wirken zu lassen. Ich versetzte zugleich hier ausnahmsweise den Holzteller, der den Quecksilbertropfen trug, bald auf die dritte und bald auf die vierte Achse, so dass zehn oder hundert Schliessungen und Oeffnungen auf einen Umgang der berussten Scheibe kamen. Ich liess eine Ruhepause von je 8 Minuten zwischen zwei Prüfungen

Zeitdauer in Sec. eines Umganges der berussten Scheibe.	Zeitdauer in Sec. einer Schliessung der Kette.	Zeitdauer in Sec. zwischen zwei Kettenschlüssen.	Wirkung.	Stromesrichtung.
18	0,2	1,6	Zehn einzelne Zuckungen von $3^2/_3$, $3^2/_3$, $3^2/_3$, $3^2/_3$, $3^1/_3$, $3^4/_5$, $3^2/_5$, $3^2/_5$, $3^2/_5$ und $3^2/_5$ Mm. Hubhöhe. Grösster Unterschied $^1/_7$ bis $^1/_8$.	Absteigend
18	0,02	0,16	Rasch zickzackförmig ansteigend, dann Linie ohne Auf- und Niedergang mit einer Hubhöhe von $3^9/_{10}$ Mm. während 20 Secunden, hierauf sehr langsam abfallend. Nach dem Oeffnen sehr schwache Asymptose und vier starke Zuckungen.	Absteigend
18	0,02	0,16	Langsamere zickzackförmige Ansteigung. Dann Linie ohne Auf- und Niedergang von $4^1/_{10}$ Mm. Hubhöhe während 22 Secunden. Nach dem Oeffnen geringe Asymptose und drei starke Zuckungen.	Aufsteigend
18	0,2	1,6	Zehn Zuckungen von 4 bis $3^3/_5$ Mm. Hubhöhe. Also Abnahme $^1/_{10}$.	Aufsteigend
18	0;2	1,6	Zehn Zuckungen von $2^2/_3$ bis $2^1/_3$ Mm. Hubhöhe. Mithin Unterschied $^1/_8$.	Absteigend
12	0,13	1,07	Dsgl. von $3^1/_{10}$ bis $2^1/_{10}$ Hubhöhe. Abnahme $^1/_3$.	Dsgl.
12	0,013	0,117	Zickzackförmiges Ansteigen, dann Linie ohne Auf- und Niedergang von $3^3/_4$ Mm. Hubhöhe, die mehr als 18 Sec. anhielt. Schwache Asymptose. Nachträgliche Zuckungen.	Dsgl.
18	0,02	0,16	Langsameres zickzackförmiges Ansteigen von $2^1/_3$ Mm. Hubhöhe. Sehr starke Asymptose. Nachträgliche Zuckungen.	Dsgl.
12	0,013	0,117	Zickzackförmiges Ansteigen. Das wahre Maximum der Linie ohne Auf- und Niedergang von 3 Mm. Hubhöhe sehr langsam erreicht. Asymptose schwächer, als unmittelbar vorher. Nachzuckungen.	

Die eben dargestellten Erfahrungen könnten zu dem Schlusse führen, dass der kräftiger erregte oder der an und für sich stärkere Nerv eine geringere Zahl grösserer Auf- und Niedergänge während der Uebergangsstufe z. B. bei Stromeswirkungen nach je $^1/_3$ Seeunden zeigt. Ich vermuthete daher, dass sich dieses auch naehweisen liesse, wenn man den Nerven dureh die Einwirkung eines starken beständigen Stromes geschwächt hat. Die Versuche, die ieh an kleinen Fröschen anstellte, belehrten mieh, dass sich die Sache auch anders, als jene Annahme ergibt, gestalten kann.

Ich nahm 73 Seeunden oder 35 Seeunden als Umdrehungszeit der Scheibe, liess zuerst die Wirkungen der kleinen schwach mit verdünnter Schwefelsäure geladenen Batterie aufschreiben, wiederholte dann das Gleiche unter dem Einflusse einer mit minder verdünnter Schwefelsäure geladenen Batterie von seehs grossen Zinkkohlenelementen und kehrte hierauf zur kleinen Batterie zurück. Ein kleiner Frosch gab dann z. B., wenn der Strom beider Batterien in allen Fällen absteigend wirkte:

Batterie.	Dauer eines Scheibenumganges in Sec.	Wirkung.	Bemerkungen.
Kleine.	73	39 gesonderte Zusammenziehungen von $3^3/_4$ bis $3^2/_3$ grösster Hubhöhe, dann einige stärkere Wellen, hierauf zierliche schwache Zickzackbiegungen mit Hubhöhen von $3^3/_4$ bis $3^3/_5$ Mm.	Frisch.
	35	Curve ohne Auf- und Niedergänge und ohne erste zickzackförmige Steigung. Hubhöhe $4^1/_5$ Mm. Asymptose schwach.	
Grosse.	73	Nur acht Zuckungen von $3^1/_3$ bis $2^3/_4$ Mm. Hubhöhe. Sonst keine Wirkung mehr.	
Kleine.	73	Fünf allmählig abnehmende Zickzacke, sonst ohne Auf- und Niedergang. Hubhöhe $4^1/_{10}$ Mm. Mässige Asymptose.	
Kleine.	73	Ungefähr 6 Zickzacke von $2^1/_{10}$ Mm. grösster Hubhöhe, dann wellig und endlich Linie ohne Auf- und Niedergang von $2^1/_{10}$ Mm. Hubhöhe.	Nach $^3/_4$ Stunde Ruhe.
Grosse.	73	Eine einzige Zuckung von $1^1/_2$ Mm. grösster Hubhöhe von fast gleichschenkeliger Curvenform. Sonst bleibt der Stift immer auf dem Ausgangskreise.	
Kleine.	73	Mehr als acht Zuckungen von $3^1/_{10}$ Mm. grösster Hubhöhe, dann immer kleinere, aber während des ganzen Umganges nicht aufhörende Wellen. Ziemlich starke Asymptose.	

Hatte der starke Strom 73 Secunden gewirkt, so erschien der Muskel merklich erweicht, da später der Stift in das Innere des Ausgangskreises eindrang. Man sieht aus diesen Beobachtungen, dass sehr kräftige Ströme, welche nach einer oder wenigen Zuckungen lähmen, zwei verschiedene Erfolge hervorbringen können. Die an dem frischen Frosche angestellte Versuchsreihe zeigte, dass die Curve ohne Auf- und Niedergang nach der Wirkung der starken Batterie früher als vor derselben auftrat. Man hatte daher keine Erniedrigung in dieser Hinsicht. Das Umgekehrte verrieth sich nach $^3/_4$ Stunden Ruhezeit. Die Maxima der Hubhöhen wuchsen in beiden Fällen.

Es schien mir noch von Interesse, den Einfluss der Länge der erregten Nervenstrecke zu prüfen. Ich änderte daher die Einstichsstellen der Elektrodennadeln, nachdem ich die Wirkungen von 73 Secunden hatte aufzeichnen lassen. Ein mittelgrosser Frosch ergab z. B. bei dem Gebrauche der kleinen Batterie:

Länge der erregten Nervenstrecke in Mm.	Wirkung.
9	Eine Zuckung von $2^1/_{10}$ Mm. grösster Hubhöhe, dann eine Curve ohne Auf- und Niedergang von $2^1/_{10}$ Mm. Höhe.
16	Mit schwachen Zacken versehene Ansteigung und dann Curve ohne Auf- und Niedergang von $2^1/_3$ Mm. Hubhöhe.
4	Drei gesonderte Zacken von 1 Mm. grösster Hubhöhe und dann eine Curve ohne Auf- und Niedergang von $1^1/_3$ Mm. Hubhöhe.

Die kürzere Nervenstrecke verrieth also die schwächere Wirkung nicht bloss durch die geringere Hubhöhe, sondern auch durch die grössere Zahl von gesonderten Zuckungen, welche vor der Curve ohne Auf- und Niedergang zum Vorschein kamen.

Frühere Untersuchungen hatten mich schon belehrt, dass der lebende und unversehrte Nerv elastischer ist, als der todte des galvanischen Froschpräparates. Er lässt sich daher im Allgemeinen schwerer aus seinem Stimmungszustande herausbringen und erholt sich auch wiederum leichter. Allein starke Eingriffe können selbst hier zu durchgreifenden und lange anhaltenden Veränderungen führen.

Ich prüfte zunächst in dieser Beziehung den Einfluss wiederholter gleichgerichteter Ströme. Die berusste Tafel befand sich auf der zweiten Achse. Die den Quecksilbertropfen durchschneidende Stahlspitze wurde mit der vierten herumgedreht. Ein Umgang der Glasplatte entsprach also hundert Schliessungen und Oeffnungen.

der aus acht Zinkkohlenelementen bestehenden Batterie. Ich liess nun zuerst hundert Zuckungen auf der berussten Glastafel aufschreiben und entfernte von dieser den Schreibstift, während das Uhrwerk fortging. Ich wartete dabei, bis einige hundert gleichgerichtete Ströme den Nerven durchsetzt hatten, zeichnete hierauf die Wirkung von hundert Schlägen derselben Stromesrichtung und dann nach Wendung des Drathgestelles des Stromwenders die von hundert anderen der entgegengesetzten Stromesrichtung auf.

Drei- bis fünfhundert Schläge einer mässig starken Batterie reichen in einem mittelgrossen Frosche hin, die Verkürzung merklich herabzusetzen. Ist aber der Eingriff verhältnissmässig nicht zu stark gewesen, so bemerkt man eine Erscheinung, die mit der bedeutenden Elasticität des lebenden Nerven zusammenhängt. Die Voltaische Alternative des galvanischen Froschpräparates beruht darauf, dass die beharrliche Durchleitung eines Stromes von gegebener Richtung den Nerven für einen Strom dieser Richtung unempfänglicher und für den der entgegengesetzten empfänglicher macht. Die secundäre Modification von Wundt würde das Umgekehrte darbieten. Wir werden sogleich sehen, dass man die Voltaische Alternative auch in dem lebenden Nerven hervorbringen kann. Hatte ich aber nur drei- bis fünfhundert gleichgerichtete Ströme der oben erwähnten Batterie durchgeleitet, so waren die grössten Hubhöhen für den gleich und für den entgegengesetzt gerichteten Strom gesunken. Man hatte also Abnahme für beide und kein Wachsthum für die entgegengesetzte Stromesrichtung. Bezeichnen wir den aufsteigenden Strom mit c und den absteigenden mit p, so fand sich z. B., wenn die Batterie 0,08 Secunden nach je $^7/_{10}$ Secunden geschlossen blieb:

Versuchsnummer.	Stromesrichtung.	Zahl der Schliessungen und Oeffnungen.	Grösste Hubhöhe der Curve ohne Auf- und Niedergang in Mm.	Bemerkungen.
1	c.	100	$3^1/_2$	
2		500		Nicht aufgezeichnet.
3		100	3	
4	p.	100	$2^9/_{10}$	
5	p.	100	$3^3/_5$	Nach fünf Minuten Ruhe.
6		300		Nicht aufgezeichnet.
7		100	2	
8	c.	100	2	
9	c.	100	$2^1/_3$	Nach fünf Minuten Ruhe
10		600		Nicht aufgezeichnet.
11		100	$1^1/_3$	

Versuchs-nummer.	Stromes-richtung.	Zahl der Schliessungen und Oeffnungen.	Grösste Hubhöhe der Curve ohne Auf- und Niedergang in Mm.	Bemerkungen.
12	p.	200	$2^1/_3$	
13	e.	200	2	
14		100	$3^9/_{10}$	Nach $^3/_4$ Stunde Ruhe.
15	p.	600		Nicht aufgezeichnet.
16		200	3	
17	e.	200	Null.	
18	p.	200	$2^9/_{10}$	
19	e.	200	Null.	
20	p.	200	$2^1/_5$	

No. 1 bis 8 führten zur Erniedrigung für beide Stromesrichtungen. No. 9 bis 13 scheinen eine Andeutung für die Begünstigung der entgegengesetzten Richtung zu geben. No. 14 bis 20 aber liefern das eigenthümliche Resultat, dass die zahlreichen absteigenden Ströme die Empfänglichkeit für dieselbe Stromesrichtung erhalten, die für die entgegengesetzte aber vernichtet hatten. Man hatte also eine Art secundärer Modification.

Ein ununterbrochen fliessender Strom wirkt natürlich durchgreifender, als eine rasche Wiederholung von Schluss, Oeffnung und Pausenzeit, weil die Letztere immer Gelegenheit zur Erholung gibt, die ihr mögliche Dauer sei so kurz, als sie wolle. Jener kann daher um so eher einen einseitigen Charakter der Nervenwirkung aufdrücken. Es kommt dabei vor, dass man im Anfange keine Veränderung oder eine Herabsetzung für beide Stromesrichtungen bemerkt. Die einseitigen Wirkungen treten erst bei ferneren ähnlichen Eingriffen auf, halten bisweilen lange an und werden sogar durch den längeren Durchfluss eines entgegengesetzt wirkenden Stromes nicht aufgehoben.

Ein Frosch z. B., der schon einige Tausend discontinuirlicher und gleichgerichteter Schläge ausgehalten hatte, gab für die aus acht Elementen bestehende Batterie und Schliessungen, die 0,08 Secunden dauerten und sich nach je $^7/_{10}$ Secunden wiederholten:

Versuchs-nummer.	Stromes-richtung.	Grösste Hubhöhe der Curve ohne Auf- und Niedergang in Millimetern.		Bemerkungen.
		Schliessungs-zuckung.	Oeffnungszuckung.	
1	p.	$1^9{}_{10}$		Fünf Minuten aufsteigend geschlossen.
2	p.	$1^1/_3$		

Versuchs-nummer.	Stromes-richtung.	Grösste Hubhöhe der Curve ohne Auf- und Niedergang in Millimetern.		Bemerkungen.
		Schliessungs-zuckung.	Oeffnungszuckung.	
3	e.		1 1/4	
4	p.	1 1/3		
5	e.		3/4	
6	p.	2		
7	e.		1	
8	p.	1 2/5		
9	e.		1 1/10	
10	p.	1 9/10		
11	e.		1 1/2	
12	p.	1 1/2		
13	e.		1	Nach fünf Minuten Ruhe.
14	p.	1 2/5		
15	e.		1	
16	e.		1/3	Fünf Minuten aufsteigend geschlossen.
17	p.	1 1/2		
18	e.		Kaum 1/3	
19	p.	1 1/4		
20	e.		3/4	
21	e.		1 1/10	Zehn Minuten aufsteigend geschlossen.
22	e.		1	
23	p.	1 2/5		
24	e.		9/10	
25	p.	1 3/4		
26	e.		1 1/4	
27	p.	1 2/3		
28	e.		1 1/3	
29	p.	1 2/5		
30	p.	1 2/5		Fünf Minuten absteigend geschlossen.
31	e.		4/5	
32	e.	Null.	Null.	Zehn Minuten absteigend geschlossen.
33	p.	1 2/5		
34	e.	Null.	Null.	
35	p.	1 2/5		
36	p.	1 2/5		Zehn Minuten absteigend geschlossen.
37	e.	Null.	Null.	
38	p.	1 1/4		
39	e.	Null.	Null.	
40	p.	1 2/5		

Der beständige Strom hatte also hier die Wirkungsweise hervorgerufen, welche man mit dem Namen des Ritter-Pfaff'schen oder des Marianinischen Gesetzes für das galvanische Froschpräparat bezeichnet, nämlich eine blosse Schliessungszuckung bei absteigendem und eine blosse Oeffnungszuckung bei aufsteigendem Strome. Der spätere anhaltende Durchfluss von Strömen in einer oder der anderen

Richtung änderte die Hauptsache nicht, nur dass zuletzt alle Wirksamkeit des aufsteigenden Stromes unter den gegebenen Verhältnissen verloren ging.

Der der Voltaischen Alternative zu Grunde liegende und auch in neuerer Zeit von Rosenthal ausgesprochene Satz, dass die anhaltende Einwirkung einer Stromesrichtung die Empfänglichkeit für diese herabsetzt, und die für die entgegengesetzte erhöht, lässt sich auch für den lebenden Nerven theilweise darthun. Man hat nur oft keine sichtliche oder irgend anhaltende Wirkungszunahme für den entgegengesetzten Strom. Ein Frosch mittlerer Grösse gab z. B. für acht Zinkkohlenelemente:

Versuchsnummer.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe bei einmaligem Kettenschlusse.		Bemerkungen.
		Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	
1	c.	$1^2/_5$		
2	p.	3		Fünf Minuten ununterbrochen absteigend geschlossen. Der Muskel bleibt zuerst mit einzelnen Wechselkrämpfen um $1^9/_{10}$ verkürzt und wird allmählig länger.
3	c.	$1^3/_5$		
4	p.	$^4/_5$	1	
5	p.	$^2/_3$	$^4/_5$	
6	c.	1	$^2/_3$	
7	c.	$^2/_3$	$^2/_5$	Acht Minuten ununterbrochen aufsteigend geschlossen.
8	c.	Nichts.	Aeusserst schwache Zuckung.	
9	p.	1		Sehr langsame Steigung der Curve.
10	c.	Nichts.	Nichts.	
11	p.	$1^1/_{10}$		Steigung etwas weniger langgezogen als früher.
12	c.		$^1/_2$	
13	p.	1		
14	p.	$1^1/_5$		Nach fünf Minuten Ruhe.
15	c.	Nichts.	Nichts.	
16	p.	$^9/_{10}$		
17	c.		$^1/_2$	
18	p.	$^1/_2$		Nach fünf Minuten Ruhe.
19	c.	Nichts.	Nichts.	

Man sieht, dass hier die herabsetzende Wirkung des starken ununterbrochenen Stromes vor Allem hervortrat und dass sie sich für den gleichgerichteten Strom weit nachdrücklicher, als für den entgegengesetzten geltend machte.

Die Gesammtsumme dieser Studien lehrt:

1. Wird der lebende Nerv eines kräftigen Frosches mit starken gleichgerichteten elektrischen Strömen nach je $^7/_{10}$ Secunden angesprochen, so liefert er in der Regel hundert Zusammenziehungen und Erschlaffungen, ohne dass eine bedeutende Erschöpfung eintritt. Der grösste Unterschied der maximalen Hubhöhen, welche die einzelnen Zusammenziehungen geben, ist häufig nur $^1/_5$ bis $^1/_6$, bisweilen aber allerdings $^1/_2$ bis $^1/_3$ des grössten Anfangswerthes, wenn die zu überwindende Last 18,5 Grm. und die Länge der geprüften Nervenstrecke 5 bis 10 Millimeter beträgt.

2. Die maximalen Hubhöhen nehmen im Allgemeinen von der ersten bis zu der hundertsten Zusammenziehung an Grösse ab. Man hat aber nicht nothwendiger Weise eine stetige Verkleinerung. Einzelne Unregelmässigkeiten können sich in dieser Hinsicht an den verschiedensten Stellen einschalten.

3. Die hundert Zuckungen geben bei dem Gebrauche grösserer oder mittelgrosser Frösche unter den in No. 1 erwähnten Zeitverhältnissen hundert einzelne Zickzacke oder es kommt nur ausnahmsweise an manchen Stellen vor, dass zwei oder mehrere verschmelzen, nur leise Wellen erzeugen oder ein kleines Bogenstück an diesem Orte auftritt. Kleine Frösche dagegen liefern im Anfange unter den in No. 1 angegebenen Verhältnissen zuerst eine Reihe gesonderter längerer Zickzacke, dann immer niederer werdende Wellen und endlich eine Curve ohne Auf- und Niedergänge. Die Reibungen des Schreibstiftes bedingen es, dass die Letztere aufgeschrieben wird, wenn man noch einzelne Zuckungen am Muskel sieht.

4. Die dem stärkeren Längenwechsel des Muskels entsprechenden Zickzacklinien geben maximale Hubhöhen, welche dem grösseren Theile der möglichen Wirkungen überhaupt entsprechen. Kommt es aber in der Folge zu einer Curve ohne Auf- und Niedergang, so liefert diese in der Regel eine maximale Hubhöhe, die noch beträchtlicher als die der gesonderten Zuckungen ausfällt. Sie stellt die überhaupt mögliche kräftigste Wirkungsweise vor.

5. Sie tritt auf, wenn sich die Zahl der Schläge in der Zeiteinheit vergrössert, nicht aber nothwendiger Weise, wenn jene kräftiger werden. Ein schwächerer Nerv liefert sie im Allgemeinen früher, als ein stärkerer.

6. Die Misshandlung des Nerven mit starken Strömen scheint in zwei entgegengesetzten Richtungen wirken zu können. Man hat Fälle, in denen die Zickzacke länger auftreten und andere, in denen

sich das Umgekehrte zeigt. Der Unterschied hängt wahrscheinlich davon ab, ob die Beweglichkeit der Nervenmolecüle ab- oder zugenommen hat.

7. Ein und derselbe Reiz wirkt auf einen schwächeren Nerven nachdrücklicher, als auf einen stärkeren. Mattere Frösche geben daher dann die Curve ohne Auf- und Niedergang früher, als kräftige.

8. Mehrere Hundert starker und gleichgerichteter Ströme, welche je $^1/_{12}$ Secunde anhalten und sich nach je $^7/_{10}$ Secunden wiederholen, ändern zunächst die Nervenstimmung, selbst in mittelgrossen und in kleineren Fröschen in keiner auffallenden Weise. Wiederholen sie sich aber in noch beträchtlicherer Menge in der Zeiteinheit, so wird die Nervenwirkung für beide Stromesrichtungen herabgesetzt, nicht aber für die gleichgerichtete erniedrigt und die entgegengesetzte erhöht.

9. Der Frosch, dessen Hirn kurz vorher zerstört worden, liefert in der Regel eine Reihe starker Nachzuckungen, wenn man eine grosse Zahl gleichgerichteter Ströme durch den Nerven geleitet hat. Jede dieser Zusammenziehungen hat eine Hubhöhe, die immer beträchtlich und oft grösser ist, als die maximalen Hubhöhen, welche die wiederholten gleichgerichteten Zusammenziehungen erzeugten. Durch Zwischenzeiten der Ruhe trennen sie sich gegenseitig. Man hat hier eine eigenthümliche Art von Oeffnungsklonus.

10. Ununterbrochen durchfliessende Ströme können den Stimmungszustand des lebenden Nerven durchgreifend ändern. Die gegenseitige Beziehung der Stärke und der Wirkungsdauer der elektrischen Erregung zu dem Kräftigkeitsgrade des Nerven führt hier zu mannichfachen Erfolgen. Es ist möglich, dass der ununterbrochene Strom die Empfänglichkeit für den gleichgerichteten Strom herabsetzt und die für den entgegengesetzten erhöht. Eine Erhöhung für den Ersteren kommt nur ausnahmsweise vor. Die Vergrösserung der Wirkung fehlt aber häufig, weil sich der (wahrscheinlich durch die starke Elektrolyse bedingte) lähmende Einfluss des Stromes nachdrücklicher geltend macht. Hat man die Thätigkeit des gleichgerichteten Stromes durch einen lange anhaltenden Strom herabgesetzt, so ändert sich bisweilen die einmal erzeugte Nervenstimmung nicht mehr, wenn man auch einen starken ununterbrochenen Strom von entgegengesetzter Richtung, wie früher, während derselben Zeitdauer durchleitet. Der Gebrauch von Wechselströmen oder die Ruhe können eine merkliche Stimmungsänderung herbeiführen.

Abwechselnd entgegengesetzt gerichtete und rasch wiederholte Ströme.

Man könnte das Spiel der gewöhnlichen Magnetelektromotoren zu den hier anzustellenden Versuchen benutzen. Ich zog eine etwas veränderte Einrichtung vor, um genau zu wissen, wie viel Inductionsschläge den Nerven in der Zeiteinheit trafen. Die eine Elektrode der aus acht Zinkkohlenelementen bestehenden Batterie ging zu der einen seitlichen mit Quecksilber gefüllten Vertiefung eines Pohlschen Stromwenders, während ein aus einer vorderen Vertiefung kommender Drath zu dem einen Ende der inducirenden Spirale eines Schlittenapparates verlief. Das andere Ende derselben war mit einem Drathe verbunden, der in der nicht isolirten Klemme des Uhrwerkes haftete. Die isolirte Klemme entliess ihrerseits den Drath für den Holzteller des Quecksilbertropfens und anderseits einen solchen, der sich zu der zweiten vorderen Vertiefung des Stromwenders begab. Die andere seitliche Vertiefung des Letzteren enthielt einen zu dem zweiten Pole der Batterie verlaufenden Drath. Die vorderen Vertiefungen entliessen zur Nebenschliessung Dräthe, die in zwei gegenseitig durch einen Drath verbundene Quecksilbernäpfe getaucht wurden. Man konnte auch so die Prüfung von Kettenströmen leicht herstellen. War selbst das Drathgerüst des Stromwenders eingesetzt, so wurde der Kreis doch erst geschlossen, wenn die durch das Uhrwerk bewegte Stahlspitze den Quecksilbertropfen berührte. Wurde das Hammerwerk des Magnetelektromotors gestellt, so erhielt man einen Schliessungsinductionsschlag bei dem Eintritte und einen Oeffnungsinductionsschlag bei dem Austritt der Spitze aus dem Quecksilbertropfen. Die in dem Oberschenkel des Frosches haftenden Nadeln wurden mit den Enden der Inductionsrolle verbunden.

Die Einschaltung des Stromwenders erleichterte die Unterbrechung und die Schliessung der Kette. Wollte man nämlich den Ausgangskreis aufschreiben lassen, so durften unterdessen die elektrischen Schläge den Nerven nicht durchsetzen. Man hob daher das Drathgestell des Stromwenders zu diesem Zweeke aus und setzte es nach der Aufzeichnung ein, ehe die Metallspitze den Quecksilbertropfen berührte. Arbeitet man mit der nöthigen Stromstärke, so erhält man eine Schliessungs- und eine Oeffnungszuckung, wenn z. B. die Durchgangszeit der Metallspitze durch den Quecksilbertropfen $^1/_4$ bis $^1/_{12}$ Secunde beträgt und grössere Zwischenpaussen der Ruhe eingreifen.

Man macht hier wiederum ähnliche Erfahrungen, wie bei den gleichgerichteten Strömen. Es hängt von der Schnelligkeit, mit der die Wechselströme auf einanderfolgen, ab, ob Zickzacke, schwache Wellenlinien oder eine Curve ohne Auf- und Niedergang aufgezeichnet werden. Ein Beispiel, das einen mittelgrossen Frosch betrifft, kann dieses erläutern. Die Schliessungsdauer der Kette betrug, wie früher, $^1/_9$ der Zeit eines Umganges und die Metallspitze drehte sich 100 Mal, wenn die Scheibe einen Umgang machte.

Umdrehungsgeschwindigkeit der berussten Scheibe in Sec.	Wirkung.
73	36 Zuckungen von $1^1/_2$ bis $1^2/_5$ Mm. Hubhöhe, dann schwache Wellen bis am Ende eines Umganges, an dessen Schlusse eine Hubhöhe von $^9/_{10}$ Mm. vorhanden war.
35	Zwei Zickzacke, dann eine Linie ohne Auf- und Niedergang von $1^9/_{10}$ Mm. Hubhöhe.
18	Nur eine Linie ohne Auf- und Niedergang von $2^1/_3$ Mm. grösster Hubhöhe. Starke Asymptose.

Der Gebrauch von Wechselströmen führt also zu denselben zwei Haupterfolgen, wie der der gleichgerichteten Ströme. Bleiben die Zeitverhältnisse die gleichen, so hat man bei einer gewissen Langsamkeit der Folge der Schliessungen und der Oeffnungen zuerst Zickzacke, dann kleine Wellenlinien und endlich eine Linie ohne Auf- und Niedergang. Die Letztere tritt um so ausschliesslicher auf, je rascher sich die Schliessungen und die Oeffnungen in der Zeiteinheit wiederholen. Hiermit verbindet sich dann eine Vergrösserung der Hubhöhe.

Wir haben schon bei den gleichgerichteten Strömen gesehen, dass die Vermehrung der Stromstärke die Zickzacke nicht nothwendigerweise beseitigt, wo sie wegen der Langsamkeit der Folge der Kettenschlüsse auftreten. Der Schlittenapparat gibt ein leichtes Mittel, das Gleiche für die Wechselströme darzuthun. Ich nahm 73 Secunden als Umgangszeit der berussten Scheibe. Mochte ich nun die Inductionsrolle von der inducirenden fünf Centimeter entfernen oder beide möglichst über einanderschieben, so zeichneten dennoch die Wadenmuskeln kräftiger Frösche immer nur Zickzacke während der Dauer eines ganzen Umganges auf. Die Hubhöhen waren in dem ersteren Falle etwas kleiner, als in dem letzteren.

Lässt man die entgegengesetzt gerichteten Schläge des Magnetelektromotors durch den lebenden Nerv gehen, so bildet die Er-

schöpfung die vorzugsweise hervortretende Wirkung. Hat der Nerv seine Stimmung durch die vorangegangene Misshandlung geändert, gibt er z. B. stärkere Oeffnungszuckungen bei auf- und stärkere Schliessungszuckungen bei absteigendem Strome, so kann sich dieser Charakter trotz der Misshandlung durch die zahlreichen Schläge des Magnetelektromotors erhalten und selbst nach der späteren Erholung mit grosser Zähigkeit verharren. Ein mittelgrosser Frosch gab z. B., wenn das Hammerwerk des Magnetelektromotors in den Zeiten der Misshandlung rasch spielte:

Versuchsnummer.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe bei einmaligem Kettenschluss.		Bemerkungen.
		Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	
1	c.	$2^1/_4$	$3^1/_{10}$	
2	p.	$3^1/_5$		
		$3^1/_4$		Gang des Magnetelektromotors während 6 Secunden.
3	c.	Nichts.	Nichts.	Eine Minute später.
4	c.	$^2/_3$	$1^1/_5$	Sechs Minuten nach der Misshandlung.
5	p.	$1^2/_5$		
6	c.	$^3/_4$	$1^1/_2$	Elf Minuten nach derselben.
7	c.	$^2/_3$	$1^1/_2$	
8	p.	2		
9	c.	$3^1/_{10}$	$1^9/_{10}$	Sechszehn Minuten nach ihr.
10	p.	$2^1/_3$		
11	c.	$^2/_3$	$2^1/_3$	Ein und zwanzig Minuten später.
12	c.	$^1/_2$	$1^2/_3$	
13	c.	$^1/_2$	2	
14	p.	$2^1/_{10}$		
15	p.	$2^9/_{10}$		
16	p.	$2^4/_5$		
17	c.	$^1/_4$	$1^2/_3$	
18	c.	Kaum $^1/_4$	2	Eine halbe Stunde nach der Misshandlung.
19	c.	Nichts.	2	
20	p.	$2^1/_3$		
21	c.	Nichts.	$2^1/_{10}$	Drei Viertelstunden nach derselben.
22	p.	$3^1/_3$		
23	c.	Fast Nichts.	$2^1/_3$	Sieben Viertelstunden nach ihr.
24	c.	$1^9/_{10}$	$2^4/_5$	
25	p.	$3^9/_{10}$ und drei Nachzuckungen von $3^1/_{10}$, $3^1/_{10}$ u. $3^4/_5$		
26	p.	$2^1/_5$		Vier Stunden nach ihr.
27	c.	$3^2/_5$	$2^4/_5$	
28	c.	$3^1/_8$	$2^3/_5$	
		$5^3/_5$		Dreissig Secunden mit dem Magnetelektromotor behandelt.
29	c.	$1^2/_3$	$1^1/_2$	Fünf Minuten später.
30	p.	$1^9/_{10}$		

Versuchs-nummer.	Stromes-richtung.	Grösste Hubhöhe bei einmaligem Kettenschlusse.		Bemerkungen.
		Schliessungs-zuckung.	Oeffnungs-zuckung.	
31	e.	4 1/3 u. lange anhaltend.	2 4/5	Zehn Minuten nach der Misshandlung.
32	p.	1 1/2		
33	e.	2	1 1/2	Zehn Minuten nach ihr.
34	p.	1 3/5		
		4 1/2		Eine Minute mit dem Magnetelektromotor behandelt.
35	e.	1 1/5	9/10	Acht Minuten später.
36	p.	9/10		
37	e.	1 1/5		Eine Stunde nach der Misshandlung.
38	p.	Kaum 1/2		
39	p.	Kaum merklich.		
40	e.	Kaum 1/2		

Man sieht aus dieser Versuchsreihe, dass die vorangegangenen Reizungen die Nervenstimmung so geändert hatten, dass die Oeffnungszuckung des aufsteigenden Stromes kräftiger, als die Schliessungszuckung ausfiel. War der Nerv eine Minute lang mit den möglichst rasch auf einanderfolgenden Schlägen des Magnetelektromotors behandelt worden, so sank die Empfänglichkeit. Die vor der Misshandlung bestandene Nervenstimmung blieb aber und erhielt sich fast zwei Stunden lang, wenn man von der einen in No. 9 auftretenden Ausnahme absieht. Die Rückkehr zu dem Zuckungsgesetze des lebenden Nerven zeigte sich erst insofern nach vier Stunden Ruhe, als der absteigende Strom nur eine Schliessungs- und der aufsteigende eine grössere Schliessungs- als Oeffnungszuckung lieferte. Eine neue Misshandlung des Nerven mit den Schlägen des Magnetelektromotors während einer halben Minute schwächte zwar denselben, änderte aber wiederum nicht jenen Stimmungszustand. Dasselbe wiederholte sich nach der zweiten eine halbe Minute dauernden Misshandlung des Nerven. Der zuletzt durchgreifende höchste Grad der Erschöpfung hinderte das Auftreten der Oeffnungszuckung und führte auf diese Weise zu einer scheinbaren Rückkehr zu dem Zuckungsgesetze des lebenden Nerven.

Hat man einen frischen kräftigen Frosch, der nach dem Zuckungsgesetze des lebenden Nerven arbeitet, so wird die Norm durch die Misshandlungen mit den Schlägen des Magnetelektromotors nicht nothwendigerweise geändert, wenn auch diese erschöpfend wirken. Man erhielt z. B:

Versuchsnummer.	Zeit der Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe nach einmaligem Kettenschlusse. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
1	8	58	p.	$4^2/_3$	2	
2			c.	$8^1/_3$	$3^1/_5$	
	9	1				Eine Minute Schläge des Magnetelektromotors. Rollen halb zusammengeschoben.
3	9	$3^1/_2$	p.	5. Stürmische Asymptose.	$3^1/_2$ ruhig.	
4			c.	$4^7/_8$ mehrfache Steigung. Asymptose.	$1^2/_5$ ruhig.	
5	9	$9^1/_2$				Eine Minute Schläge des Magnetelektromotors.
6	9	12	c.	$4^1/_3$ während d. Erschlaffung sich ein Mal hebend.	$3^1/_3$	
	9	17				Eine Minute Schläge des Magnetelektromotors.
7	9	20	c.	$3^2/_5$	3	
8			p.	$3^1/_2$ stürmisch.	$^4/_5$ ruhig.	
	9	22				Eine Minute Schläge des Magnetelektromotors. Rollen ganz zusammengeschoben.
9	9	26	c.	$2^1/_{10}$	$1^1/_3$	
10			p.	$2^1/_2$	$1^1/_4$	
11	9	$30^1/_2$				Eine Minute Schläge des Magnetelektromotors.
12	9	$33^1/_2$	c.	$1^2/_5$		
13			p.	$1^3/_5$		
14	9	$38^1/_2$	c.	2		
15			p.	$1^7/_8$	Weniger als $^1/_2$	
16	9	$43^1/_2$	c.	$3^2/_5$		
17			p.	$1^9/_{10}$	$1^1/_2$	
18	9	$48^1/_2$	c.	$2^9/_{10}$	$1^2/_3$	
19			p.	$2^1/_2$	2	
20	9	$53^1/_2$	c.	$3^1/_3$		
21			p.	$2^1/_3$	$1^3/_5$	
22	9	$58^1/_2$	c.	$3^1/_3$		
23			p.	$2^1/_3$	$1^2/_3$	
24	10	$3^1/_2$	c.	4		
25			p.	$3^9/_{10}$		
26	10	$8^1/_2$	c.	$2^4/_5$	$2^1/_2$	
27	10	$12^1/_2$				Eine Minute Schläge des Magnetelektromotors.
28	10	$14^1/_2$	c.	1		
29			p.	Kaum merkl.		
30			c. = p.	Nichts.	Nichts.	
31	11	1	p.	1		
32			c.	$1^9/_{10}$		
33	11	2				Das verlängerte Mark zerstört.
34	11	3	c.	$2^2/_3$		
35			p.	$2^1/_3$		

Versuchsnummer.	Zeit der Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe nach einmaligem Kettenschlusse. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
36	11	8	c.	3		
37			p.	1	$1\frac{1}{2}$	
38	11	15	c.	$2\frac{1}{2}$		
39			p.		$1\frac{9}{10}$	
40			p.		$1\frac{1}{2}$	
41			c.	$1\frac{3}{5}$		
42	11	19				Eine halbe Minute Schläge des Magnetelektromotors.
43	11	31	c.	$1\frac{1}{3}$		
44			p.		$\frac{3}{4}$	
45	11	54	c.	$\frac{1}{3}$		
46			p.		$\frac{1}{3}$	

Diese Versuchsreihe zeigt, mit welcher Zähigkeit sich das Zuckungsgesetz des lebenden Nerven trotz aller Misshandlungen mit den Schlägen des Magnetelektromotors erhalten kann. Sie liefert zugleich zwei andere Eigenthümlichkeiten. Die Schläge des Magnetelektromotors hatten im Anfange (No. 3 bis 8) eine Art von Ueberempfindlichkeit für beide Stromesrichtungen herbeigeführt. Die Schliessungszuckungen waren stürmisch. Sie bestanden aus mehreren Hebungen und Senkungen. Die Oeffnungszuckungen bewahrten eine grössere Ruhe. Später, als die Kräfte des Nerven schon bedeutend gesunken waren, fand sich die eigenthümliche Stimmungsänderung, dass der Muskel sich nur bei dem Einbrechen des aufsteigenden und am Austritte des absteigenden Stromes zusammenzog.

Ich habe noch einige vergleichende Versuche angestellt, wie sich die Verhältnisse gestalten, je nachdem die elektrische Erregung den Nerven oder den Muskel selbst trifft.

Drehte sich die berusste Scheibe in 18 Secunden ein Mal herum, während der Kettenschluss nach je 1,8 Secunden erfolgte, so erhielt ich z. B. hundert einzelne Zuckungen von $4\frac{2}{3}$ bis $2\frac{4}{5}$ Millimeter Höhe, wenn die Ströme durch ein ein Centimeter langes Stück des obersten Obersehenkeltheiles des Hüftnerven geleitet wurden. Gingen sie aber durch den Wadenmuskel selbst, während das Uebrige das Gleiche blieb, so zeichnete der Stift zuerst drei Zuckungen von $4\frac{1}{4}$, $4\frac{1}{3}$ und $4\frac{1}{4}$ Mm. grösster Höhe und dann eine Curve von $4\frac{2}{3}$ Mm. Höhe ohne Auf- und Niedergang auf. Man hatte also die stärkere Wirkung in dem letzteren Falle, obgleich der grösste Durchmesser des Wadenmuskels 6 und der mittlere des Obersehenkels 8 Mm. betrug, der Leitungswiderstand also grösser war, wenn man die

Ströme durch den mehr als einen Centimeter langen Wadenmuskel gehen liess.

Wiederholte ich bald darauf den Versuch in umgekehrter Ordnung, so schrieb der Stift vier Zuckungen von 4 Mm. Höhe und dann eine Curve ohne Auf- und Niedergang von $4^1/_4$ Mm. Höhe bei Reizung des Muskels, dagegen sechs Zusammenziehungen von 2 bis $2^1/_{10}$ Mm., dann über eine Secunde immer niedriger werdende Wellenlinien und endlich eine Curve ohne Auf- und Niedergang auf, wenn man den obersten Theil des Hüftnerven ansprach.

Antwortete der Wadenmuskel eines Frosches nach dem Zuckungsgesetze des lebenden Nerven, so blieb diese Stimmung, wenn auch Misshandlungen durch die Schläge des Magnetelektromotors die Wirkung überhaupt beträchtlich herabgesetzt hatten. Ich habe jedoch in dieser Hinsicht zu wenig Versuche angestellt, als dass ich mit Bestimmtheit sagen könnte, ob sich die Reizung der Muskelmasse wesentlich anders, als die des Nerven verhält.

Diese mit abwechselnd entgegengesetzt gerichteten Strömen angestellten Untersuchungen ergaben:

1. Folgen die elektrischen Schläge nach nicht zu kurzen Zeiten auf einander, so wird immer eine vollständige Zuckung beendet, so das der Muskel jedes Mal gänzlich erschlafft. Werden die Zwischenzeiten kürzer, so zeichnen sich nur Wellenlinien auf, weil eine neue Zusammenziehung früher eingreift, als eine beträchtliche Erschlaffung zu Stande gekommen. Verkleinern sich die Pausen noch mehr, so erhält man eine Linie ohne Auf- und Niedergang. Die grösste Hubhöhe wächst in diesen drei Fällen, so dass die Curve ohne Auf- und Niedergang das Maximum von allen gibt. Der Unterschied beträgt jedoch nur einen kleinen Bruchtheil des schon in dem ersten Falle auftretenden Maximums. Diese mit den Wirkungen gleichgerichteter Ströme übereinstimmenden Erscheinungen kehren wieder, man möge den Nerven oder den Muskel reizen. Der Letztere liefert aber insofern kräftigere Erfolge, als er eine Curve ohne Auf- und Niedergang bei grösserem Leitungswiderstande und unter sonst gleichen Verhältnissen aufschreiben lässt, als der elektrisch erregte Nerv.

2. Bietet der kräftige Nerv das Zuckungsgesetz des lebenden Nerven dar, so kann man ihn in der Regel mit den Schlägen des Magnetelektromotors mehrfach misshandeln und seine Kräfte hierdurch wesentlich herabsetzen, ohne dass die Norm des Zuckungsgesetzes des lebenden Nerven aufhört. Haben vorangegangene

Misshandlungen den Nerven so verstimmt, dass er gar keine oder eine schwächere Schliessungs- und eine stärkere Oeffnungszuckung bei aufsteigendem und eine blosse Schliessungszuckung bei absteigendem Strome gibt, so kann sich auch diese Stimmung trotz aller Misshandlungen mit den Schlägen des Magnetelektromotors erhalten.

3. Diese führen aber dessenungeachtet hin und wieder zu eigenthümlichen Veränderungen. Wirken sie auf einen noch kräftigen Nerven in mässigem Grade ein, so kann es sich ereignen, dass die Schliessungszuckungen des auf- und die des absteigenden Stromes stürmisch und krampfhaft, die Oeffnungszuckungen dagegen ruhig ausfallen. Eine solche Reizbarkeitserhöhung zeigt sich bisweilen auch in den ersten Zeiten nach der Zerstörung des verlängerten Markes. Wiederholte Misshandlungen des schon geschwächten Nerven können es dahin bringen, dass der aufsteigende Strom eine Schliessungs- und der absteigende eine Oeffnungszuckung gibt, dass mithin ein Stimmungszustand auftritt, der dem gewöhnlichen des durch anhaltende Ströme misshandelten Nerven entgegengesetzt ist. Gab der geschwächte Nerv noch doppelte Wirkungen mit Vorherrschen der Schliessungszuckung, so kann der lähmende Einfluss der Schläge des Magnetelektromotors die Oeffnungswirkung beseitigen und so eine scheinbare Rückkehr zu dem reinen Zuckungsgesetze des lebenden Nerven in den letzten Zeiten der Leistungsfähigkeit herbeiführen.

§. 11. Die Wirkungen einzelner Gifte auf die Zuckungserscheinungen.

Die allgemeine Versuchsanordnung glich in dieser Beobachtungsreihe der früher benutzten. Man machte einen Einschnitt in die Rückenhaut des Frosches und brachte durch diesen das Gift unter die Haut oder führte es durch den Mund ein. Ich liess dann von Zeit zu Zeit die Muskelcurven, welche dem durch einen Centimeter des obersten Theiles des Hüftnerven fliessenden auf- oder absteigenden Strome entsprachen, aufschreiben.

Ein mittelgrosser Frosch, dem ich eine grössere Menge einer Strychninlösung unter die Rückenhaut gegossen hatte, gab:

Versuchs-nummer.	Zeit der Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe bei einmaligem Kettenschlusse. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
	3	33				Die Strychninlösung eingegossen.
1	3	35	p.	$1^4/_5$	$3^2/_3$. Während d. Erschlaffung sich noch ein Mal hebend.	
2	3	39	c.	5. Stürmisches Aufsteigen. Blieb 0,4 Sec. gleich hoch und sank dann plötzlich. Nach dem Oeffnen lange anhaltende Krämpfe.		
3			p.	$3^4/_5$. Stürmisches Aufsteigen, 0,35 Secunden auf gleicher Höhe und plötzliches Sinken.		
4	3	44	c.	$3^2/_5$. Mit zwei Zuckungen ansteigend. 0,36 Sec. auf gleicher Höhe. Ziemliche Asymptose.		
5			p.	4. Während 0,2 Sec. gleich hoch. Fast keine Asymptose.		
6	3	49	c.	$1^9/_{10}$. Etwas zitternd, sonst wie gewöhnlich.		
7			p.	1. Wie gewöhnlich.		
8	3	54	c = p	Nichts.	Nichts.	
9			c.	Nichts.	Nichts.	Der Muskel gercizt.
			p.	$1^1/_5$		

Man sieht aus dieser Beobachtung, dass zuerst stürmische und krampfhafte Muskelzuckungen bei dem Einbrechen des aufsteigenden oder des absteigenden Stromes auftraten. Dieser Character machte sich für die Oeffnungszuckung weniger geltend. Hatte die krampfhaft erregte Empfänglichkeit etwas abgenommen, um in die Lähmungsstufe allmählig überzugehen, so zeichnete sich die Schliessungszuckung dadurch aus, dass sie rasch auf ein Mal oder in mehrfachen Hebungen und Senkungen anstieg, eine Zeit lang auf gleicher Höhe blieb und dann schnell abfiel. Die Muskelcurven wurden später den gewöhnlichen ähnlich und immer niedriger, bis endlich alle Leistungsfähigkeit zu Grunde ging. Das Zuckungsgesetz des lebenden Nerven machte sich auf allen diesen Stufen der Strychninvergiftung geltend.

Ein mittelgrosser Frosch, der schon durch viele andere Versuche erschöpft war, gab nach dem Eingiessen einer grossen Menge einer Strychninlösung unter die Rückenhaut:

Versuchs-nummer.	Zeit der Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe nach einmaligem Kettenschlusse. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
	2	50		Bald darauf Krampfanfälle nach stärkerem Klopfen. Ein aufsteigender Strom gibt eine starke Schliessungszuckung und eine Reihe kräftiger Nachzuckungen.		Die Strychninlösung eingegossen.
1	3	7	c.	$2^1/_{10}$		
2			p.	$2^4/_5$	$1^1/_5$	
3	3	11	c.	$4^1/_{15}$. Lange Asymptose.		
4			p.	$3^2/_5$. Lange Asymptose.		
5	3	16	c.	$2^1/_4$. Erst nach 9 Sec. zum Grundkreise zurückkehrend.		
6			p.	$2^9/_{10}$. Erst nach 7 Sec. zum Grundkreise zurückkehrend.		
7	3	20	c.	$2^1/_2$ Erst nach 5,4 Sec. zum		
8			p.	$2^9/_{10}$ Grundkr. zurückkehr.		
9	3	25	c.	$1^9/_{10}$ Dsgl.		
			p.	$2^3/_5$		

Diese Vergiftung, welche ein enthirntes und durch frühere elektrische Reizungen geschwächtes Thier betraf, zeigte das Eigenthümliche, dass die Schliessungszuckungen Asymptosen darboten, dass also die Verlängerung des früher verkürzten Muskels so langsam erfolgte, als man dieses sonst nach den erschöpfenden Wirkungen der Schläge des Magnetelektromotors sieht.

Eine andere Versuchsreihe hatte zum Zweck, den Einfluss anhaltender Ströme während der Strychninvergiftung kennen zu lernen. Ein ziemlich grosser Frosch lieferte nach dem Eingiessen der Giftlösung unter die Rückenhaut:

Versuchs-nummer.	Zeit der Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe bei einmaligem Kettenschlusse. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
	9	25				Ziemlich viel Strychninlösung unter die Rückenhaut.
1	9	27	c.	$2^1/_2$		
2			p.	$^9/_{10}$		
3	9	29	c.	$1^2/_5$		
4			p.	$1^3/_5$		
	9	30				Starker Krampfanfall nach mechanischer Erschütterung.
5	9	$31^1/_2$	c.	$1^1/_{10}$		
6			p.	$1^1/_{10}$		
7	9	35	c.	$1^1/_4$		
8			p.	1		

Versuchs-nummer.	Zeit der Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe nach einmaligem Kettenschlusse. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
9	9	37½	e.	1⅖ rasch und bald abfallend.		
10			p.	1½ stürmisch.	1⅓ stürmisch.	
11	9	42½	e.	1⅖	Spurweise.	
12			p.	1⁹/₁₀	Spurweise.	
	9	43				Die erregende Kette eine Minute lang absteigend geschlossen.
13	9	44½	p=e.	Nichts.	Nichts.	
14	9	48½	e.	1⅖		
15			p.	1½		
16	9	50				Die Kette eine Minute lang aufsteigend geschlossen.
17	9	51½	e.	1	⅔	
18			p.	⁹/₁₀	Spurweise.	
19	9	56½	e.	1¹/₁₀		
20			p.	⁴/₅		
	9	57				Eine Minute absteigend geschlossen.
21	9	58½	p.	¾		
22			e.	⁹/₁₀		
23	10	0	e.	⅔		
24			p.	½		
25	10	5	e.	⁹/₁₀		
			p.	⅖		
26	10	12	e.	⁴/₅		
27	11	5	p.	⅖		
			p=e.	Nichts.	Nichts.	

Der anhaltende Durchfluss des auf- oder absteigenden Stromes schwächte höchstens den Nerven, so dass er doppelte statt einfache Wirkungen gab, hob dagegen die Norm des Zuckungsgesetzes des lebenden Nerven nicht auf.

Dass dieses auch geltend bleibt, wenn man die Vergiftung durch sehr verdünnte Strychninlösungen bewirkt hat und dann eine grosse Empfänglichkeit für die Erregung von Starrkrämpfen erzeugt worden, kann folgender Versuch erhärten:

Versuchs-nummer.	Zeit der Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe bei einmaligem Kettenschlusse. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
	3	23½				Sehr verdünnte Strychninlösung unter die Rückenhaut.
1	3	24½	e.	6. Vier Zuckungen u. sechs Erhebungen währ. d. Erschlaffung.		

Versuchs-nummer.	Zeit der Ein-wirkung. Stunde.	Minute.	Stromes-richtung.	Grösste Hubhöhe bei einmaligem Kettenschluss. Schliessungs-zuckung.	Oeffnungs-zuckung.	Bemerkungen.
2			p.	$5^3/_4$. Fast 0,3 See. auf derselben Höhe und dann rasch abfallend. Eine Nachzuckung.		Starke Krampfanfälle. Sie beruhigen sich bei dem Durchgange des erregenden Stromes in aufsteigender oder in absteigender Richtung.
3	3	$28^1/_2$	c.	$2^4/_5$. Stürmisch mit zwei Erhebungen während der Erschlaffung.		
4			p.	$1^2/_3$ ruhiger.		
5	3	$33^1/_2$	e = p.	Kaum $^1/_3$.		
6	3	$38^1/_2$	c = p.	Nichts.	Nichts.	

Der anhaltend durchfliessende aufsteigende Strom der erregenden Kette, den ich zuerst gebrauchte, beruhigte die Starrkrämpfe vollständiger als der später benutzte absteigende.

Ich versuchte nun zunächst einige Opiumpräparate. Ein Frosch, der eine reichliche Menge von Opiumextract durch den Mund erhalten hatte, zeigte:

Versuchs-nummer.	Zeit der Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromes-richtung.	Grösste Hubhöhe bei einmaligem Kettenschlusse. Schliessungs-zuckung.	Oeffnungs-zuckung.	Bemerkungen.
1	9	17	e.	$3^1/_{10}$	$3^1/_8$	
2	9	$19^1/_2$	p.	$3^3/_5$		Viel wässrige Lösung von Opiumextract durch den Mund eingeführt.
3	9	$20^1/_2$	c.	$3^1/_5$. Zwei Steigungen während der Verkürzung.	$1^3/_5$. Ruhig.	
4			p.	3. Zwei Steigungen.	2 und eine Nachzuckung.	
5	9	$26^1/_2$	c.	Zwei rasche Zuckungen von je $2^1/_3$.	$2^1/_3$. Ruhig.	
6			p.	$2^4/_5$. Stürmisch.		
7	9	$31^1/_2$	c.	Drei Hebungen von $3^1/_{10}$, $3^1/_5$ und $3^1/_3$.	$1^4/_5$	

Versuchsnummer.	Zeit der Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe bei einmaligem Kettenschlusse. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
8			p.	$2^4/_5$	$1^3/_5$	
9			c.	$2^1/_4$. Etwas stürmisch bei dem Abfalle.	$1^3/_5$	
10			p.	$2^1/_3$	$1^1/_{10}$	
11	9	$36^1/_2$	p.	Drei Hebungen von $2^9/_{10}$, $2^3/_5$ und $2^4/_5$.	$2^1/_{10}$	
12			c.	Zwei Hebungen von $1^4/_5$ u. $2^1/_{10}$.	$2^1/_{10}$	
	9	45				Keine Krämpfe nach mechanischen Eingriffen. Eine neue Menge des Giftes durch den Mund eingegossen.
13	9	$48^1/_2$	c.	$2^1/_5$	$2^1/_5$	
14			p.	Zwei Hebungen von $1^4/_5$ u. $3^1/_5$.	$2^1/_3$. Ruhiger.	
15	9	$53^1/_2$				Bei dem Klopfen Krämpfe.
16	10	8	c.	Nichts.	Nichts.	
17			p.	$^1/_3$		

Die erregende Wirkung der wässrigen Lösung des Opiumextractes gab sich hier dadurch zu erkennen, dass die Zuckungen stürmischer ausfielen, dass mehrere auf einander folgende Hebungen und theilweise Senkungen statt einer allmähligen Steigung auftraten. Dieses Unruhige der Verkürzung verrieth sich im Allgemeinen stärker bei auf- als bei absteigender Stromesrichtung und meist mehr bei dem Schlusse, als bei der Oeffnung der Kette.

Ein zweiter Frosch wurde dadurch getödtet, dass man eine grössere Menge von einfacher Opiumtinctur der Apotheken durch den Mund einführte. Es ergab sich:

Versuchsnummer.	Zeit der Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe bei einmaligem Kettenschlusse. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
1	1	33	c.	$1^9/_{10}$	$2^9/_{10}$	
2			p.	$2^1/_3$	$3^2/_3$	
	1	38				Einfache Opiumtinctur durch den Mund eingeflösst.
3	1	40	c.	$2^1/_3$. Rasch und kurz.	$2^1/_{10}$. Rasch und kurz.	
4			p.	$1^9/_{10}$		
5	1	45	c.	2. Rasch und kurz.	$2^1/_{10}$. Rasch und kurz.	

Versuchsnummer.	Zeit der Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe nach einmaligem Kettenschlusse. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
6			p.	$3^2/_5$. Während 0,3 Sec. gleich hoch und dann rasch abfallend.		
7	1	50	e.	Drei Zuckungen von $2^2/_5$, $2^3/_5$ und $1^1/_5$.	Drei Zuckungen von $1^1/_2$, $2^1/_3$ und $2^3/_5$.	
8			p.	$2^1/_3$	$1^1/_3$ und eine Nachzuckung von $1^2/_5$.	
9	1	55	e.	$1^1/_8$	Zwei Zuckungen von $2^1/_2$ und $1^9/_{10}$.	
10			p.	Eine stürmischere Zuckung von $3^9/_{10}$ und eine ruhigere von $3^1/_{10}$.		
	1	58				Keine Krämpfe bei dem Klopfen.
11	2	0	e.	$1^1/_{10}$	4, während 0,3 Sec. gleich hoch, stürmisch.	
12			p.	$2^1/_{10}$	$2^1/_4$	
13	2	5	e.	$^9/_{10}$		
14			p.	2	$2^4/_5$. Stürmisch.	
15	2	10	e.	$1^3/_4$		
16			p.	$1^1/_3$		
17	3	3	e.	$^4/_5$		
18			p.	1		

Man hatte hier im Anfange den Stimmungszustand, dass die doppelten Wirkungen verhältnissmässig starker Ströme grössere Hubhöhen für die Oeffnungs- als für die Schliessungszuckungen darboten. Dieses brach auch später nach der Einwirkung der Opiumtinctur hin und wieder durch. Obgleich das Opium nicht den Grad von Reizbarkeit hervorrief, dass das Klopfen lebhafte Krampfanfälle erzeugte, so verriethen doch die Muskelcurven die höhere krankhafte Empfänglichkeit, die sich bei den Schliessungs- und den Oeffnungszuckungen und bei beiden Stromesrichtungen kund gab.

Dass man auch den umgekehrten Fall haben könne, dass sich die krankhaft erhöhte Empfänglichkeit länger durch die mittelst mechanischer Erschütterungen erzeugten Krämpfe, als durch die aufgeschriebenen Muskelcurven kund geben könne, lehrte eine Morphinvergiftung eines mittelgrossen Frosches.

Versuchsnummer.	Zeit der Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe in Millimetern. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
1	9	15	p.	$2^1/_3$		
2			c.	$1^4/_5$	$1^1/_3$	
	9	18				Ein Morphinkryställchen unter die Rückenhaut gebracht.
3	9	$19^1/_2$	c.	$^4/_5$	$2^3/_5$ rasch, nur 0,13 Sec. im Ganzen anhaltend.	
4			p.	$2^3/_5$, 0,16 Sec. dauernd.	$3^1/_3$, 0,36 Sec. dauernd.	
5	9	25	c.	$^2/_5$	$2^3/_5$	
6			p.	$1^1/_4$	$2^1/_4$	
	9	27				Klopfen erzeugt keine Krämpfe.
7	9	30	p.	$1^1/_3$. Stürmisch.		
8			c.	$^1/_3$	$2^1/_5$. Stürmisch.	
	9	33				Nach dem Klopfen schwache Krämpfe.
9	9	35	c.	$^1/_4$	$1^2/_5$. Stürmisch.	
			p.	2	$^1/_5$	
	9	36				Klopfen führt zu starken Krämpfen.
9	9	40	c.	$^1/_4$	$1^1/_2$. Ruhig.	
			p.	$2^1/_{10}$	Spur.	
10	9	45	c.	$^1/_3$	$1^4/_5$	
11			p.	2		
	9	46				Nach dem Klopfen Krämpfe.
12	9	50	c.	$^1/_8$	1	
13			p.	$2^2/_5$. Stürmisch.		
	9	53				Nach dem Klopfen Krämpfe.
14	9	55	c.	$^1/_5$	$1^3/_5$	
15			p.	$1^2/_5$		
	9	58				Nach dem Klopfen Krämpfe.
16	10	0	c.	$^1/_5$	$1^1/_{10}$	
			p.	$1^2/_5$		
	10	5				Zum letzten Male Starrkrämpfe durch Klopfen.
	10	10	Alle Empfänglichkeit geschwunden.			

Diese Beobachtungsreihe zeigt, dass das Stürmische der durch elektrische Erregungen hervorgerufenen Verkürzungen viel früher aufhören kann, als die durch Klopfen bedingten Anfälle von Starrkrampf. Die Letzteren können noch kurz vor aller Erschöpfung der Reizbarkeit auftreten.

Hatte ich einige Krystalle von Thebain unter die Rückenhaut eines kleinen Frosches gebracht, so zeigte sich keine merkliche Veränderung der Muskelcurven in der ersten halben Stunde. Ich schob daher dann noch einige kleine Krystalle von Narcotin unter

die Rückenhaut. Das Thier schreckte zehn Minuten nach dem Klopfen ein Mal auf und starb nach einer Stunde. Die von fünf zu fünf Minuten aufgeschriebenen Muskelcurven zeigten nur im Anfange bisweilen eine längere Dauer der gleich hoch bleibenden Zusammenziehung.

Ein mittelgrosser Frosch, welcher mit Tinctur der Belladonnawurzel vergiftet wurde, lieferte:

Versuchsnummer.	Zeit d. Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe in Millimetern. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
	9	0				Eine grosse Menge der Tinctur des Belladonnaextractes unter die Rückenhaut gebracht.
1	9	$3^1/_2$	e.	Drei Zuckungen von $5^1/_2$, $5^1/_2$ und $3^1/_2$.	$4^3/_5$	
2			p.	$5^3/_5$. Lange Asymptose.		
3	9	10	e.	Fünf Zuckungen von $4^3/_5$, $6^3/_4$, 6, $5^2/_3$ und $7^1/_3$. Sehr stürmisch.	$5^2/_3$	
4			p.	Vier Zuckungen von $5^2/_3$, $4^1/_3$, $5^1/_2$ und $5^1/_5$.		
5	9	25	e.	$5^1/_3$	$4^1/_3$. Ziemlich starke Asymptose.	
6			p.	Zuerst $4^2/_5$ u. dann $6^1/_8$.	$2^1/_3$. Sehr lange Asymptose.	
7	9	30				Das Klopfen erzeugt keine Krämpfe.
8	9	35	e.	$4^2/_5$	3. Lange Asymptose.	
9			p.	Zwei Zuckungen von $3^3/_4$ und $6^1/_8$. Sehr lange Asymptose.		
	9	38				Keine Krämpfe nach dem Klopfen.
10	9	40	e.	Zickzackförmige Steigung bis $4^3/_5$. 0,9 Sec. auf gleicher Höhe.	$2^1/_5$. Starke Asymptose.	
11			p.	Zwei Erhebungen von $3^1/_2$ und $4^1/_5$.	2. Sehr starke Asymptose.	
12	9	45	e.	$2^1/_8$	$2^2/_3$. Sehr starke Asymptose.	
13			p.	$2^9/_{10}$. Sehr starke Asymptose.		
14	9	50	e.	$2^1/_5$	$2^1/_4$	
15			p.	Zwei Zuckungen von $2^2/_5$ und $2^1/_3$. Sehr starke Asymptose.		
	9	52				Klopfen erzeugt ein einmaliges Aufzucken.

Versuchs-nummer.	Zeit d. Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe in Millimetern. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
16	9	55	c.	2	$2^1/_{10}$. Lange Asymptose.	
17			p.	$2^4/_5$	2. Lange Asymptose.	
	9	58				Das Klopfen erzeugt starke aber bald aufhörende Krämpfe.
18	10	0	c.	$2^1/_3$	$2^1/_2$. Lange Asymptose.	
19			p.	$3^1/_5$. Stürmisch.	$1^9/_{10}$. Lange Asymptose.	
	10	5				Das Klopfen erzeugt starke Krämpfe.
20	L0	10	c.	1. Lange Asymptose.		
21			p.	$2^1/_3$	$2^1/_4$. Sehr lange Asymptose.	
22			c.	$1^1/_2$. Lange Asymptose.		
	10	13				Das Klopfen bedingt lebhafte Krämpfe.
23	10	20	c.	$2^1/_3$		
24			p.	$2^1/_3$		
25	11	3	c.	$1^1/_{10}$	$2^1/_3$	
26			p.	$1^3/_5$		
	1	45				Das Klopfen erzeugt noch rasch schwindende Krämpfe.
27	1	48	c.	$1^1/_{10}$	$1^4/_5$	
28			p.	$1^9/_{10}$		

Man hatte hier zuerst diejenige Stufe der Ueberreizung, in welcher die galvanischen Ströme stürmische einfache oder mehrfache Zuckungen, das Klopfen dagegen noch keine Krämpfe erzeugte. Kam später die letztere Wirkung mit Lebhaftigkeit zum Vorschein, so war die erstere schon merklich gesunken oder fehlte gänzlich. Die Asymptose hielt eine beträchtliche Zeit an. Der Muskel kehrte also nur sehr allmählig zu seiner früheren Länge zurück.

Die Beobachtungen, welche ich mit Schierlingsvergiftung anstellte, führten zu keinen befriedigenden Ergebnissen. Ich brachte zuerst eine bedeutende Menge der weingeistigen Schierlingstinctur in den Magen eines mittelgrossen Frosches. Man konnte keine beständigen stürmischen Zusammenziehungen und kein Aufschrecken nach dem Klopfen in den nächsten $^3/_4$ Stunden bemerken, so dass auch der Weingeist der Tinctur keine solche Wirkung hervorrief. Ich goss nun zwei Tropfen gelben und stark riechenden Coniins unter die Rückenhaut. Das Thier starb in weniger als einer Viertelstunde. Die indessen vorgenommenen sechs Galvanisationen lieferten Wirkungen, die dem Zuckungsgesetze des lebenden Nerven entsprachen.

Die Erschlaffung ging hin und wieder mit auffallender Schnelligkeit vor sich.

Ein Frosch, dem Veratrin und ein anderer dem Emetin unter die Rückenhaut gebracht worden, starben, ohne dass sich vorher eine beträchtlich erhöhte Empfänglichkeit verrathen hätte. Man bemerkte höchstens hin und wieder etwas stürmischere Zuckungen nach der ersten Viertelstunde, die seit der Einverleibung des Giftes verflossen war.

Ein Frosch, den ich mit dem Safte von Antiaris toxicaria und ein anderer, den ich mit einer Lösung eines Theiles Antiarin in 910 Theilen Wassers vergiftete, zeigten keine auffallenden Merkmale erhöhter Reizbarkeit. Der erstere lieferte eine Zeit lang den Fall, dass die Schliessungszuckung für beide Stromesrichtungen schwächer, als die Oeffnungszuckung ausfiel.

Ein Frosch, der durch den Stich eines von den Bassoutos in Afrika gebrauchten Pfeiles getödtet worden, starb, ohne eine merkliche Stufe erhöhter Empfänglichkeit dargeboten zu haben. Die Muskelcurven lieferten nichts Ungewöhnliches.

Anders verhielt es sich mit der Curarevergiftung. Ein kleiner Frosch gab z. B.

A. Das linke Bein.

Versuchsnummer.	Zeit d. Einwirkung. Stunde.	Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe in Millimetern. Der Strom durch den Oberschenkeltheil des Nerven. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Der Strom durch den Wadenmuskel. Schliessungszuckung.	Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
	2	12						Ein sehr kleines Stückchen Curare unter die Rückenhaut gebracht.
1	2	14	c.	$3^3/_5$				
2			p.	1				
3			c.			$1^3/_5$		
4			p.			$2^2/_5$		
5	2	17	c.	$1^9/_{10}$				
6			p.	$2^1/_3$				
7			c.			$1^3/_5$		
8			p.			$2^9/_{10}$		
9	2	24	c.	1				
10			p.	$^2/_5$				
11			c.			$1^1/_{16}$		
12			p.			$2^1/_8$		
13	2	36	c.			$^1/_2$		
14			p.			$1^2/_5$		

Versuchsnummer.	Zeit d. Einwirkung. Stunde.	Zeit d. Einwirkung. Minute.	Stromesrichtung.	Grösste Hubhöhe in Millimetern. Der Strom durch den Oberschenkeltheil des Nerven. Schliessungszuckung.	Der Strom durch den Oberschenkeltheil des Nerven. Oeffnungszuckung.	Der Strom durch den Wadenmuskel. Schliessungszuckung.	Der Strom durch den Wadenmuskel. Oeffnungszuckung.	Bemerkungen.
15			c.	Spur.		Spur.		
16			p.	Dsgl.		Dsgl.		
17	2	43	c=p.	Nichts Sicheres.				
18			c.			$1\frac{1}{10}$		
19			p.			$1\frac{1}{3}$		
20	2	55	c.			1		

B. Das rechte Bein.

a. Inductionsschläge.

21	3	7	c=p.	Nichts.				
22			c.			1	$1\frac{3}{5}$	
23			p.			$1\frac{1}{10}$	$1\frac{9}{10}$	

b. Kettenströme.

24	3	16	c.			2	$1\frac{1}{5}$	Während des 4 Sec. dauernden Schlusses nur zuletzt bis auf 1 sinkend.
25			p.			$3\frac{1}{2}$		Bis zur Oeffnung nur bis 2 sinkend.
26	3	20	c.			$2\frac{1}{2}$		Sinkt nur bis 1 bis zum Oeffnen.
27			p.			$3\frac{1}{2}$		Sinkt nur bis $2\frac{1}{3}$ bis zu dem Oeffnen.

Diese Versuchsreihe enthüllte mehrere Eigenthümlichkeiten.

1. Die Curarevergiftung änderte nicht die gewöhnlichen Zuckungsgesetze. Der linke Wadenmuskel gab nur Schliessungszuckungen bei beiden Stromesrichtungen, der rechte auch eine schwächere Oeffnungszuckung in einem Falle. Gebrauchte man den Inductionsschlag des Magnetelektromotors (ohne Nebenschliessung), so erschien, wie gewöhnlich, die Oeffnungszuckung stärker als die Schliessungszuckung. Die Curare änderte also nicht die gewöhnlichen Zuckungsgesetze. Der Muskel gab immer kräftigere Ausschläge, wenn der Strom seine Masse in absteigender, als wenn er dieselbe in aufsteigender Richtung durchsetzte.

2. Eine Stufe erhöhter Empfänglichkeit mit stürmischen Zuckungen, wie nach der Strychninvergiftung, kam nicht vor.

3. Die Kette blieb der Einrichtung des Ganzen gemäss drei bis vier Secunden geschlossen. Man hatte dann einen von zwei

Hauptfällen. Eine starke Schliessungszuckung trat bei grösserer Empfänglichkeit des Muskels auf. Dieser erschlaffte aber nicht sogleich vollständig während der Dauer des Kettenschlusses. Er blieb vielmehr verhältnissmässig stark zusammengezogen. Trat der Stahlstift aus dem Quecksilbertropfen hervor, so dass die Kette geöffnet wurde, so ging der Muskel zu seiner ursprünglichen Länge plötzlich zurück, zum Beweise, dass man es hier nicht mit einer gewöhnlichen zurückbleibenden Verkürzung während der Dauer des Kettenschlusses zu thun hatte. War der Muskel in höherem Grade geschwächt, so zog er sich im Augenblicke des Kettenschlusses um eine gewisse Grösse zusammen, blieb auf dieser Höhe der Verkürzung während der drei bis vier Secunden anhaltenden Dauer des Kettenschlusses und kam dann bei der Oeffnung zu seiner früheren Länge rasch zurück.

Ich habe diese eigenthümliche Erscheinung noch an demselben Frosche in Versuchen geprüft, die oben nicht verzeichnet wurden. Die Kette konnte eine bis anderthalbe Minuten geschlossen bleiben, ohne dass die Grösse der Zusammenziehung abnahm. Diese verminderte sich allmählig in anderen Beobachtungen. Hatte sie sich aber nicht zu stark verkleinert, so begab sich immer erst der Schreibstift in raschem Gange zu dem Ausgangskreise, so wie man die Kette öffnete.

Liess ich z. B. den Strom durch die Muskelmasse $1^1/_2$ Minuten in absteigender Richtung fliessen, so verlor sich die Empfänglichkeit für diese Stromesrichtung für lange Zeit, blieb aber für die entgegengesetzte erhalten.

Andere mit Curare vergiftete Frösche bestätigten im Wesentlichen die oben angeführten Ergebnisse. Es kam dabei häufig vor, dass die durch den noch thätigen Nerven oder die durch die Muskelmasse erregten Verkürzungen zuletzt ziemlich langsam asymptotisch abliefen. Dieses zeigte sich selbst bisweilen nach dem Gebrauche von Inductionsschlägen. Ein Beispiel möge näher erläutern, wie lange die Zusammenziehungen anhalten können. Ich hatte eine sehr kleine Menge von Curare um 9 Uhr 28 Minuten unter die Rückenhaut gebracht. Liess ich den elektrischen Strom um 11 Uhr 18 Minuten durch die Muskelmasse fliessen, so blieb die $4^1/_2$ Millimeter betragende Hubhöhe 108 Secunden unverändert und die Verkürzung lief so langsam asymptotisch ab, dass der Anfangskreis erst nach 6 Minuten erreicht wurde.

Hat man eine künstliche Erhöhung der Empfänglichkeit durch die Verletzung des verlängerten Markes erzeugt, so verliert sich diese bald nach der Curarevergiftung, so wie die Reizbarkeit des Nerven in merklicherem Grade sinkt. Leitet man die Ströme durch die Muskelmasse selbst, so findet man häufig, aber keineswegs immer, dass die Hubhöhen bei absteigendem Strome grösser, als bei aufsteigendem ausfallen. Es kommt selten vor, dass die Oeffnungszuckung grösser, als die Schliessungszuckung ausfällt.

Die nachträgliche Curarevergiftung scheint die durch Strychnin erzeugte übergrosse Empfänglichkeit rascher, als sie sich von selbst verlieren würde, herabzusetzen.

Diese Beobachtungen lehren:

1. Während die Vergiftung mit Strychnin, Opium oder Belladonnatinctur die Empfänglichkeit im Anfange erhöhte und später herabsetzte, fehlte die erstere Erscheinung in den oben angeführten Versuchen, die mit der Weingeisttinctur des Schierlings, dem Coniin, dem Emetin, dem Veratrin, dem Safte von Antiaris toxicaria, einer wässrigen Lösung des Antiarin, dem Pfeilgifte der Bassoutos und dem Curare angestellt worden. Das Narcotin zeigte einige Erhöhung der Empfänglichkeit, während das Thebain ohne Wirkung blieb. Man darf hieraus nicht schliessen, dass die Stufe der erhöhten Empfänglichkeit für die oben angeführten Gifte immer ausbleibt. Andere Erfahrungen lehren vielmehr, dass sie für die verschiedensten Körper, welche sie unter gewöhnlichen Fällen nicht zeigen, unter günstigeren Bedingungen auftreten kann.

2. Die erhöhte Empfänglichkeit, welche die Vergiftung mit Belladonna und besonders die mit Strychnin oder mit Opium erzeugt, gibt sich dadurch zu erkennen, dass das Klopfen auf den Tisch einen Anfall von Starrkrampf hervorruft. Wir wollen dieses die übergrosse Reflexempfänglichkeit nennen. Eine andere Art der krankhaften Reizbarkeitserhöhung verräth sich dadurch, dass die Muskelcurven stürmisch werden. Dieses möge die stürmische Verkürzung heissen.

3. Die Letztere stellt sich auf verschiedene Weise dar. Ist sie in höchstem Grade vorhanden, so erhält man eine Reihe von Zuckungen statt einer einzigen. Man hat hier eine Anzal von Nachzuckungen nach der Schliessung und häufiger nach der Oeffnung des Stromes. Die einzelne Zuckung erfolgt rasch, stürmisch. Sie liefert mehrere Auf- und Niedergänge vorzugsweise bei dem Ansteigen der Verkürzung, seltener während der Erschlaffung. Minder lebhafte Wir-

kungen der Art zeichnen sich durch andere ungewöhnliche Verhältnisse aus. Die Zusammenziehung erreicht rasch ihre grösste Höhe und erhält sich eine verhältnissmässig beträchtliche Zeit auf dieser unverändert. Der Muskel kehrt dann zu seiner ursprünglichen Länge schnell zurück. Man hat endlich noch eine Art stürmischer Verkürzungen, die sich nur durch die Kürze ihrer Dauer auszeichnen.

4. Die stürmische Zusammenziehung ist bis zu einem gewissen Grade von der übergrossen Reflexzusammenziehung unabhängig. Sie geht ihr häufig voran und fehlt oder ist viel schwächer als früher, wenn die übergrosse Reflexempfänglichkeit ihre beträchtlichste Höhe erreicht. Man hat seltener den umgekehrten Gang. Mangelt die stürmische Zuckung gänzlich, so kann dessenungeachtet die übergrosse Reflexzusammenziehung mit grösserem oder geringerem Nachdrucke auftreten.

5. Es kommt vor, dass die stürmischen Zuckungen nur bei dem Schlusse, nicht aber bei der Oeffnung der Kette erscheinen oder dass sie in dem letzteren Falle schwächer, als in dem ersteren sind.

6. Der Beginn der übergrossen Reflexzusammenziehung zeigt sich dadurch, dass das zweite Hinterbein in Starrkrampf verfällt, so wie der elektrische Strom durch den Hüftnerven des ersten geleitet wird. Die stürmische Zusammenziehung des Letzteren kann dann schon beträchtlich abgenommen haben oder gänzlich fehlen.

7. Die übergrosse Reflexverkürzung wird im Allgemeinen im Anfange durch den aufsteigenden Strom leichter, als durch den absteigenden erregt.

8. Der Durchfluss starker beständiger Ströme durch den Hüftnerven kann den durch Strychnin erzeugten Starrkrampf für den Augenblick beseitigen. Der aufsteigende Strom scheint hierbei besser, als der absteigende zu wirken.

9. Das Zuckungsgesetz des lebenden Nerven erhält sich auch mit grosser Zähigkeit nach den verschiedensten Vergiftungen.

Zeigte sich die ungewöhnliche Stimmung, dass die Oeffnungszuckung grösser als die Schliessungszuckung ausfiel, so blieb diese auch trotz der Empfänglichkeitserhöhung durch die Opiumvergiftung.

10. Hat das Curare die Thätigkeiten des Hüftnerven gelähmt und leitet man dann die Ströme durch die Muskelmasse selbst, so stösst man auf die Eigenthümlichkeit, dass der Muskel verhältnissmässig beträchtlich verkürzt bleibt, wenn auch die Kettenschliessung vollendet worden, also während der Dauer des Schlusses. Oeffnet man die Kette, so kehrt der Muskel zu seiner ursprünglichen Länge rasch zurück, zum Beweise, dass man hier nicht etwa eine zurück-

bleibende Verkürzung, sondern eine während der Dauer des Geschlossenseins thätige Einwirkung des galvanischen Stromes vor sich hat. Dieser Versuch liefert den anschaulichsten Beleg, dass die Norm, der Muskel zucke nur bei dem Schlusse oder bei diesem und der Oeffnung der Kette, keine allgemeine Gültigkeit hat.

11. Antwortet der unmittelbar angesprochene Muskel des mit Curare vergifteten Frosches kräftiger, so hat die Schliessungszuckung eine beträchtlichere maximale Hubhöhe, als die anhaltende Verkürzung während der Dauer des Geschlossenseins der Kette. Geschwächtere Muskeln, für welche die gleiche Stromstärke ein kräftigerer Reiz ist, bleiben während der Letzteren auf einer geringeren Höhe der Verkürzung, als sie im Augenblicke des Kettenschlusses erreicht haben.

Lässt man die Kette geschlossen, so verlängert sich allmählig der Muskel. Eine Anzahl von Minuten kann aber verstreichen, ohne dass er seine ursprüngliche Länge erreicht.

Der absteigende Strom führt bisweilen zu beträchtlicheren Hubhöhen, als der aufsteigende. Abweichungen hiervon kommen häufig vor. Hat er längere Zeit den Muskel durchflossen, so verkürzt sich dieser nicht mehr unter dem Einflusse eines neuen absteigenden Stromes. Der aufsteigende kann dann schwächere, nicht aber stärkere Wirkungen als früher zeigen.

Die kurze Dauer des Inductionsschlages reicht hin, eine Curve des Muskels nach der Curarevergiftung aufzeichnen zu lassen, deren maximale Hubhöhe verhältnissmässig lange anhält.

12. Man findet bei den mannigfachsten Vergiftungen Einzelfälle, in denen die Muskelcurve nach Reizung des Nerven oder des Muskels asymptotisch abläuft. Diese Erscheinung bildet aber kein stets wiederkehrendes Merkmal, sondern tritt erst unter ähnlichen Nebenbedingungen, wie unter normalen Verhältnissen, nur, wie es scheint, leichter auf.

Gedruckt bei E. Polz in Leipzig.

Verbesserungen.

S. 6. Z. 4. v. u. st. können l. zu können.
S. 16. Z. 10. v. u. st. daher l. aber.
S. 43. Z. 1. v. u. st. da l. daher.
S. 48. Z. 7. v. u. st. nicht l. mit.
S. 49. Z. 3. v. u. st. jeder l. jede.
S. 62. Z. 12. v. u. st. Fig. 16 l. Fig. 19.